

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Ewald Kraft

UNTERSUCHUNGEN ZUM DIMENSIONSVERHALTEN
DES ABFORMWERKSTOFFES "IMPREGUM"(R)
(POLYÄTHERGUMMIMASSE)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

 vorgelegt von
Wolfgang Holzberg

München

1975

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

1. Berichterstatter: Prof. Dr.Dr. P. Fuchs

2. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Kraft

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 18.2.1975



INHALTSVERZEICHNIS

I. Titel und Zweck des Werkes	7
II. Allgemeine Lebensdaten/Lebenszeit	8
III. Biographischer Teil	10
I. Kindheit (1811)	11
II. Jugendjahre	12
III. Ausbildung	13
IV. Berufstätigkeit	14
V. Tod	15
a) Familiensituation	16
b) Beziehungen	17
VI. Verlobung/Heirat	18
VII. Erbschaft	19
a) Vermögen	20
b) Abrechnung	21
IV. Bedeutung des Lebenswerks	22
V. Literatur	23
I. Monographien	24
II. Aufsätze	25
III. Briefe	26
IV. Nachlass	27

Meiner lieben Mutter gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

A	Ziel und Zweck der Arbeit	2
B	Kritische Literaturübersicht	4
C	Experimenteller Teil	12
	I. Prüfkörper (PK)	12
	II. Versuchsanordnung	13
	III. Abformung	17
	IV. Modellherstellung	17
	V. Vermessung	18
	a) Meßmikroskop	18
	b) Messungen	19
	VI. Versuchsbedingungen	23
	VII. Ergebnisse	25
	a) Tabellen	28
	b) Abbildungen	52
D	Diskussion der Ergebnisse	64
E	Schlußfolgerung und Wertung	70
F	Zusammenfassung	72
G	Literaturverzeichnis	74

A ZIEL UND ZWECK DER ARBEIT

Die Abformung von Zahnstümpfen, die zur Versorgung mit Kronen, sei es nun als Einzelkronen oder im Verband einer Brücke, vom Zahnarzt präpariert worden sind, zählt zu den täglichen Aufgaben der prothetischen Zahnheilkunde. Dabei werden Materialien verwandt, die sich hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und damit auch in ihren Eigenschaften voneinander unterscheiden. Zu den sogenannten Elastomeren, die aufgrund ihrer elastischen Eigenschaften eine eigene Gruppe bilden, zählen Abformmaterialien auf der Basis von Silikon, Polysulfid und Polyäther. Präparate mit unterschiedlicher Viskosität stehen dem Zahnarzt zur Auswahl, dadurch bieten sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. So können Abformungen in Ringen und Kappchen gewonnen werden, ebenso wie die vom zeitlichen Aufwand günstige ringlose Abformung. Bei der ringlosen Abformung gelangen entweder zwei Präparate gleichen chemischen Typs aber unterschiedlicher Viskosität zur Anwendung, wie beim Doppelabdruck, sei es nun im einzeitigen(Doppelmischabdruck) oder im zweizeitigen (Doppelabdruck) Verfahren, oder es wird mit einem **einzigem** Material gearbeitet, das in seinem Fließverhalten etwa in der Mitte zwischen "zähplastisch" und "leichtfließend" liegt. (EFFINGER(3), GERATS(11), FUCHS u.KOBES(9), HOFMANN u.LUDWIG (12,13), SCHWINDLING(32), STAHL(34)).

Die relativ einfache und zeitsparende Anwendung und die Möglichkeit,"unter-sich-gehende" Partien abformen zu können, haben dazu beigetragen, den gummielastischen Abformmaterialien den Weg in die zahnärztliche Praxis zu ebnen.

Der Weg vom beschliffenen Zahnstumpf bis zur endgültigen Versorgung mit einer Krone geht bei Anwendung der "Indirekten Technik" (ILG(15)) über sehr viele Zwischenstufen. Nur die genaue Kenntnis aller Faktoren, die einen Einfluß auf die Paßgenauigkeit der anzufertigenden Krone oder Brücke haben, und die Beachtung der aus ihrer Kenntnis erwachsenden Konsequenzen verhelfen der Gußkrone zu einem erfolgreichen Einsatz im Rahmen der zahnärztlichen Therapie.

Die vorliegende Arbeit untersucht das Dimensionsverhalten eines irreversibel-elastischen Abformmaterials auf Polyätherbasis, dem IMPREGUM(R).

Als Abformtechnik wird ausschließlich das ringlose, "einzeitig-einphasige" Verfahren angewandt.

Dem Einfluß unterschiedlicher Temperierung der Abformmasse während der Applikation in der Mundhöhle gilt der Hauptteil dieser Untersuchung.

Weiterhin wird die Bedeutung des Präparationswinkels und die der Abformmassenschichtdicke für die Abformgenauigkeit festgestellt.

Meist werden Untersuchungen zum Dimensionsverhalten von Abformmaterialien ohne Berücksichtigung mundphysiologischer Bedingungen durchgeführt, d.h. am raumtemperierten, trockenen Modell. Um die Verhältnisse bei Mundtemperatur zu simulieren, wurde eine Apparatur entwickelt, die die Erwärmung der abzuförmenden Zahnstumpfmodelle auf 36°C (mittlere Mundtemperatur) möglich macht. So konnten auch mögliche Dimensionsunterschiede festgestellt werden, die sich aus der Abformung von stilisierten Zahnstümpfen einerseits bei Mund- und andererseits bei Raumtemperatur (Mittel 21°C) ergaben.

Schließlich wird noch der Einfluß von Speichelfeuchtigkeit auf die Detailwiedergabegenauigkeit untersucht.

B KRITISCHE LITERATURÜBERSICHT

Darstellung der Problematik von Abformmaßnahmen anhand der neueren Literatur

Aus vielen wissenschaftlich theoretischen und praktischen Untersuchungen (ILG(14,15,16,17), REHBERG(23,24), VIOHL(35), FRANZ(7), SCHWICKERATH(25,26,27), KÖRBER u.LEHMANN(19), FINGER u.LOCKOWANDT(6)) wissen wir von den zahlreichen Einflüssen, die auf die elastischen Abformstoffe einwirken und ihre Volumen-, Form- und Detailwiedergabegenauigkeit bestimmen. Diese beginnen schon vor der eigentlichen Abformung innerhalb der Mundhöhle und finden nach Beendigung des Abformvorgangs außerhalb der Mundhöhle zunächst keinesfalls ihr Ende. Eine Dreiteilung der folgenden Übersicht erscheint daher sinnvoll.

Im ersten Teil werden die Faktoren beschrieben, die schon vor der Anwendung des Abformmaterials, also außerhalb der Mundhöhle, mitentscheidend sind für das Dimensionsverhalten des Abformwerkstoffes.

Der zweite Teil berichtet von allen bekannten Einflüssen, die während des Abformvorgangs innerhalb der Mundhöhle auf die gummielastische Masse einwirken.

Dimensionsbestimmende Veränderungen der Abformmasse nach Beendigung der Abformung, also wieder außerhalb der Mundhöhle, erfaßt der dritte und letzte Teil der folgenden Übersicht.

I. Teil

Jede Abformmaßnahme beginnt mit der Auswahl des Abformmassenträgers. Der Abformlöffel soll engpassend, aus starrem Material und mit ausreichenden Retentionen versehen sein; als günstig erweist sich ein individueller Löffel (REHBERG(23,24), HOFMANN u.LUDWIG(12), FINGER u.LOCKOWANDT(6), HERRMANN(zit. nach VOSS(36)).

EINFELDT(zit.nach VOSS(36)) jedoch weist auf die größere Abzugsdeformierung der schwächer dimensionierten Abformmassenschicht bei der Verwendung engpassender Abformmassenträger hin, die eine permanente Deformation und damit eine größere Ungenauigkeit der Abformung zur Folge hat.

Bei der Bereitstellung der Abformmasse ist die Dosierung der Einzelkomponenten im Hinblick auf die Dauer der Verarbeitungs- und Abbindezeit zu beachten (ILG(14), REHBERG(24), SCHWICKERATH(25,27), FRANZ(7)). Paste und Härter müssen intensiv durchgespatelt werden, bis eine homogene Mischung erreicht ist (VIOHL(35), FRANZ u.RITZE(8)). Die läßt sich bei Abformmaterialien, bei denen Paste und Härter von unterschiedlicher Farbe sind, optisch kontrollieren.

Nach FRANZ und RITZE(8) versteht man unter dem Begriff "Mischzeit" (Definition des Fachnormenausschusses Dental) ".... die Zeit vom Beginn des Mischens bis zum Erreichen einer einheitlichen Farbe und homogener Konsistenz."

Diese Zeit soll möglichst kurz sein, da mit dem Beginn der Durchmischung die Polymerisationsreaktion gestartet wird, also die Abbindephase beginnt. Der Übergang von rein plastischen in elastische Anteile ist fließend, so daß je nach Material und Mischungsverhältnis oft schon nach 2 min, vom Beginn der Mischzeit gerechnet, erste elastische Anteile auftreten können.

Für den Polyäthergummi IMPREGUM(R) ermittelten FRANZ und RITZE (8) in ihrer Untersuchung eine Abformzeit von 3 min, vom Zeitpunkt des Anmischens gerechnet. Der Fachnormenausschuß Dental hat sich (FRANZ u.RITZE(8)) auf folgende Definition für den Begriff "Abformzeit" geeinigt: ".....ist die Zeit vom Einbringen in den Mund bis zum Auftreten erster elastischer Eigenschaften."

Das Beschicken des Abformlöffels, je nach Material die Anwendung einer Spritze und das Einbringen des gefüllten Löffels in die entsprechende Position innerhalb der Mundhöhle sind Vorgänge, deren zeitlicher Ablauf mit dem Begriff "Einbringzeit" (FRANZ u. RITZE(8)) charakterisiert wird. Diese Einbringzeit kann bei der Abformung mehrerer Zahnstümpfe so lang sein, daß die Härterzugabe zur Paste verringert werden muß, da andernfalls beim Einbringen des Löffels in die Mundhöhle schon elastische Anteile in der Abformmasse vorhanden sein können, Die Folge wären irreversible Verzerrungen und Verformungen und damit ein unbrauchbares Abformergebnis.

Das Aufsetzen des Löffels auf den abzuformenden Teil erfordert nach SCHWICKERATH(25,26,27) eine bestimmte Kraft, deren Größe vom Verhältnis der Löffelgröße zum Abformungsteil, von den Abflußmöglichkeiten und nicht zuletzt von der Viskosität der Abformmasse zum Zeitpunkt des Einsetzens bestimmt wird. Während beim Doppelabdruck und insbesondere beim Doppelmischabdruck ein steiferes Material auf das dünnfließende eine erwünschte Stempelwirkung zum Ausformen der subgingivalen Zahnfleischpartie ausübt, ist bei der "einzeitig-einphasigen" Abformung der Kraftaufwand zum Einsetzen des Löffels erheblich geringer, da hier mit einem Material mittlerer Viskosität gearbeitet wird. Die Bezeichnung "Abformung" wird hierbei den tatsächlichen Verhältnissen gerechter. Die Anwendung einer Spritze zum Einbringen der Masse in die Zahnfleischfurche ist bei der "einzeitig-einphasigen" Abformtechnik unumgänglich, um den so wichtigen subgingivalen Bereich exakt abformen zu können. HOFMANN(zit.nach VOSS(36)), EYRICH(5) u.a. verwenden dabei Ringe oder Fäden, die zur Öffnung der Zahnfleischfurche zirkulär am Zahnstumpf appliziert werden und erst kurz vor Anwendung der Spritze entfernt werden.

II. Teil

In der Mundhöhle wirken auf das Abformmaterial zusätzliche physikalische Größen ein, die auf seine Formgenauigkeit, Formkonstanz und Detailwiedergabe einen entscheidenden Einfluß haben (REHBERG(zit.nach VOSS(36))).

Zunächst einmal bewirkt die um durchschnittlich 15°C gegenüber der Raumtemperatur (Mittel 21°C) höhere Mundtemperatur eine erhebliche Beschleunigung der Polymerisation. Die chemische Vernetzung und damit das Aneinanderrücken der Moleküle führt zu der allen Elastomeren eigenen Polymerisationskontraktion (SCHWINDLING(28,29,33), REHBERG(23,24)). Modellversuche zur Erfassung der linearen Dimension von Abformmaterialien sollten daher bei mundgleicher Temperatur (Mittel 36°C) vorgenommen werden (SCHWINDLING(30)).

SCHWINDLING(31) fand bei den Polysulfiden eine bei Beginn der Abbindephase vorhandene Expansion, die sich dann jedoch rasch in eine Kontraktion umkehrt.

Die durch die höhere Temperatur schnell fortschreitende Abbindung der Abformmasse macht es erforderlich, daß der Abformlöffel in seiner einmal eingenommenen Position absolut ruhig gehalten wird. Dies kann bei der "einzeitig-einphasigen" Abformtechnik schwierig sein, zumal oft unkontrollierte motorische Aktivitäten der mimischen Muskulatur und insbesondere der Zungenmuskulatur bei unruhigen Patienten zusätzliche Erschwernis bedeuten.

Durch ungleichmäßiges Einbringen des Löffels und seiner Lagekorrektur im Mund bedingte Verziehungen der Abformung lasten HOPMANN und LUDWIG(13) deshalb auch dem "einzeitig-einphasigen" Abformverfahren als Nachteil an.

Ein weiterer, sich auf die Detailwiedergabe auswirkender Einfluß geht von dem erhöhten Feuchtigkeitsgehalt innerhalb der Mundhöhle aus, insbesondere von dem direkten Kontakt der hydrophoben Abformmaterialien mit dem Speichel.

Der Speichelfluß wird durch den Fremdkörper selbst noch gesteigert (MEYER(21)). Unschärfen und Kantenabrundungen sind als unmittelbare Folgen oft Ursachen für ein negatives Abformergebnis.

Das Ausmaß der schon genannten Kontraktion während der Abbindephase hängt unter anderem auch von der Abdruckmassenschichtdicke ab. Allgemein kann man feststellen, daß die Schrumpfung umso größer ist, je dicker die Abformmassenschicht ist. Diese schon lange bekannte Tatsache hat auch zu der Forderung nach Verwendung engpassender Abformlöffel geführt (REHBERG(23,24), HOFMANN u. LUDWIG(12), EINFELDT (zit.nach VOSS(36)), FINGER u. LOCKOWANDT(6)). REHBERG(23) weist außerdem noch auf die Bedeutung des Füllstoffgehalts der Abformmasse bei der Gesamtkontraktion hin. Einen direkten Zusammenhang zwischen relativ geringem Füllstoffgehalt und relativ großem Kontraktionswert konnten, anders als REHBERG(23), FUCHS und KOBES(9) in ihrer Untersuchung nicht feststellen.

Der gesamte Abformungsvorgang findet mit der Herausnahme des Löffels aus der Mundhöhle sein Ende. Der früheste Zeitpunkt, zu dem dies geschehen darf, liegt am Ende der sogenannten "Abbindezeit" (Fachnormenausschuß Dental); diese ist beendet, "wenn das Material ohne bleibende Formveränderung aus dem Mund entfernt werden kann" (zit.nach FRANZ u. RITZE(8)).

Da bei der Entnahme des Löffels aus dem Mund erhebliche Abzugskräfte auftreten können (SCHWICKERATH(25,27)), ist die strenge Einhaltung der vom Hersteller angegebenen Mindestabbindezeit unabdingbar, will man nicht ein durch Verziehungen und Deformierungen unbrauchbares Abformergebnis in Kauf nehmen. FRANZ und RITZE(8) ermittelten in ihrer Untersuchung für den Polyäthergummi IMPREGUM(R) eine Abbindezeit von 7 min, vom Zeitpunkt des Anmischens gerechnet. Die Abbindezeiten sind je nach Material und Fabrikat unterschiedlich. Sie lassen sich jedoch durch Unterdosierung des Härters verlängern, was bei umfangreichen Abformmaßnahmen erforderlich sein kann (SCHWICKERATH(25,27), FRANZ u. RITZE(8)).

HERRMANN(zit.nach VOSS(36)) hat bei seinen Untersuchungen über Einfluß und Größe der Abzugskräfte festgestellt, daß allein für die Abformung eines Zahnstumpfes mit IMPREGUM(R) Werte von 12 Kilopond erreicht werden. Weiterhin sind seiner Meinung nach die Größe der Interdentalräume, die Anzahl der abzuformenden Zahnstümpfe, die Zwischenmedien(Speichel, Luft) und die Abzugsdauer und -geschwindigkeit von Bedeutung.

III. Teil

Nach Beendigung der Abformung kühlt sich das Abformmaterial von der Mund- zur Raumtemperatur ab. Dieser Temperatursprung führt nach SCHWINDLING(31,33) zu einer anfänglichen Beschleunigung der Materialkontraktion. Die Schrumpfung wird dann wieder geringer und nähert sich nach Stunden oder auch Tagen einem Endwert. Je größer also der Zeitraum zwischen dem Abformvorgang und der Modellherstellung ist, umso größer ist auch - bis zu einem materialbedingten Endwert - die lineare Materialschrumpfung (ILG(15), SCHWINDLING(28,29,31), HOFMANN u. LUDWIG(13), SCHWICKERATH(25), CHONG u. DOCKING(2), KÖRBER u. LEHMANN(19), REHBERG(zit.nach VOSS(36))).

Der Anteil der Füllstoffe in den Elastomeren hat nach REHBERG (zit.nach VOSS(36)) auch einen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Materialkontraktion bei Lagerung. SCHWINDLING(29) ermittelte für den Polyäthergummi IMPREGUM(R) einen Endkontraktionswert von 0,3% linear. Diese relative Form- und Volumenkonstanz wurde nach 2 stündiger Lagerungszeit festgestellt. Durch gezielte thermische Nachbehandlung des gelagerten Abformmaterials konnte SCHWINDLING(30,33) die Materialkontraktion rückgängig machen. Zumindest für die Silikone und den Polyäthergummi IMPREGUM(R) ließen sich in ihrer Höhe von der Lagerungszeit abhängige Temperaturen ermitteln, die nach bestimmter Einwirkungszeit eine Expansion im Ausmaß der vorangegangenen Kontraktion hervorriefen.

Die Größenordnung der Materialkontraktion und ihre Abhängigkeit von der Lagerungszeit muß bei der Auswahl des Modellmaterials berücksichtigt werden. Abform- und Modellstoff müssen nach ihrem Volumenverhalten aufeinander abgestimmt werden, eine funktionelle Einheit bilden (FINGER u. LOCKOWANDT(6)). Wird eine primär durch das Volumenverhalten des Abformstoffes bedingte Verkleinerung des Modells gegenüber dem Original erwartet, ist zur Erzielung volumengetreuer Modelle nötig, einen Modellstoff zu verwenden, der durch sein expansives Volumenverhalten diese Verkleinerung weitestgehend ausgleicht (ILG(14)). Neben den früher häufig verwandten Amalgamen und Zementen werden Hartgipse und neuerdings auch Kunststoffe zur Modellherstellung benutzt. Letztere zeigen ein expansives Dimensionsverhalten (PÖTKE(22)).

Die Volumenvergrößerung bei den Hartgipsen ist keinesfalls mit der oft nur Minuten (für VEL-MIX STONE[®] 8-10 min; Herstellerangabe) dauernden Abbindung vorbei. Nach einer Untersuchung von GARDEMIN (10) haben die Modellhartgipse im Durchschnitt erst nach 5 Stunden ihre endgültige Form- und Volumenkonstanz erreicht.

Weiterhin gilt noch zu erwähnen, daß auch die Dichte des Modellwerkstoffs beim Ausgießen der Abformung berücksichtigt werden muß. Ein zu großes Eigengewicht oder gar Druckanwendung beim Einbringen des Modellmaterials (Stopfdruck bei Amalgamen) kann vor allem beim Doppelabdruck zur Verdrängung der oft nur schwach dimensionierten subgingivalen Abdruckpartien führen (REHBERG(24)).

Bei der indirekten Technik der Kronen- und Brückentherapie ist mit der Herstellung des Arbeitsmodells dem Techniker erst die Arbeitsgrundlage zur Anfertigung des geplanten Zahnersatzes in die Hand gegeben.

Jeder weitere Arbeitsgang, die Modellation des Wachsmodells, die Einbettung und der Guß, wird wiederum von unterschiedlichen Dimensionseinflüssen begleitet. Sie müssen ebenso genauestens berücksichtigt werden, soll das therapeutische Mittel Gußkrone oder Brücke den funktionellen Anforderungen an die geplante Therapie gerecht werden.

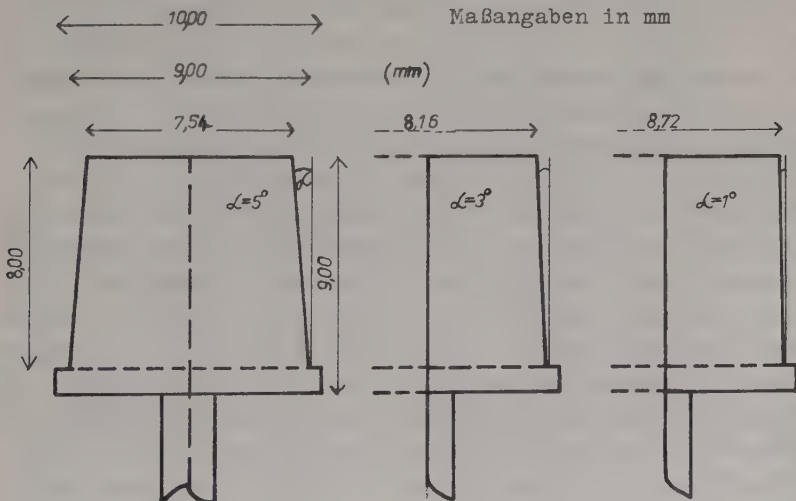
Die Betrachtung der genannten weiteren Arbeitsgänge der Kronen- und Brückenherstellung ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung und findet daher keine Berücksichtigung.

C EXPERIMENTELLER TEIL

I. Prüfkörper (PK)

Das Dimensionsverhalten des Abformwerkstoffes IMPREGUM(R) wurde indirekt untersucht, d.h. die Messungen wurden an Modellen vorgenommen, die zuvor über die Abformung genormter Prüfkörper gewonnen worden waren. Die Ausgangsbasis für die vorgenommenen Versuche bildeten drei stilisierte Kronenstümpfe (Kegelform) aus Stahl. Diese Kegelstümpfe hatten unterschiedliche Konuswinkel (Neigungswinkel zur Längsachse α), sie betrugen 1° , 3° und 5° . Damit waren mögliche Präparationswinkel simuliert. Da der Genauigkeit gedrehter Metallkörper Grenzen gesetzt sind, wurde jeder Stahlkegel nach dem noch zu besprechenden optischen Verfahren in einem Vorversuch vermessen.

Abb. 1: Darstellung der drei Original-Prüfkörper



II. Versuchsanordnung

Die drei Kegelstümpfe wurden in Reihenfolge ihrer Konuswinkel 1° , 3° , 5° von mesial nach distal in den linken Seitenzahnbereich eines Unterkiefer(UK)-FRASACO-Modells aus Kunststoff eingesetzt. Die Zähne 34, 35, 36, 37 und 38 wurden zuvor entfernt. Auf der rechten Modellseite wurden die Molaren entfernt, da dieser Bereich zur Aufnahme von 2 Flüssigkeitsthermometern diente.

Das im distalen Bereich des UK-Modells (rechte Seite) in den Kunststoff eingesetzte Alkoholthermometer hatte nach Herstellerangaben eine Genauigkeit von $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Mit einem mesial von diesem in Höhe des mittleren Prüfkörpers der linken Kieferhälfte im Kunststoff versenkten Quecksilberthermometer (Genauigkeit nach Herstellerangaben: $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) wurde die Temperatur dicht unter der Oberfläche des FRASACO-Modells bestimmt.

Das Alkoholthermometer hatte den größeren Temperaturanzeigebereich (0°C - 50°C) als das Quecksilberthermometer (35°C - 42°C) und diente damit lediglich zur ungefähren Anzeige des Temperaturbereichs von 35°C aufwärts. Danach wurde das noch zu besprechende "Heizungssystem" reguliert.

Das mit Prüfkörpern und Thermometern versehene UK-Modell wurde in eine 0,5cm starke kreisrunde Sperrholzplatte von 11cm Durchmesser eingesetzt und verleimt und diese dann zentrisch über eine ebenfalls kreisrunde (10cm Durchmesser) Öffnung einer $30 \times 40 \text{ cm}^2$ in der Fläche und 1,7cm in der Materialstärke messenden Spanplatte gesetzt und mit zwei Holzschrauben fixiert.

In die Mitte einer im Abstand von 17cm von der ersteren deckungsgleich durch vier Rundstäbe fixierten Spanplatte gleicher Abmessungen wurde eine Fassung montiert, die zur Aufnahme einer 25 Watt-Glühbirne diente.

Um die von dieser Lichtquelle bei Inbetriebnahme der Apparatur ausgehende Wärmestrahlung in Richtung und Intensität auf die Unterseite des oben angebrachten FRASACO-Modells zu konzentrieren, wurde ein Weißblechzylinder von 10cm Durchmesser und 7cm Länge (Materialstärke 0,5mm) am Unterrand der ebenfalls 10cm großen Öffnung der oberen Spanplatte so angebracht, daß sich der Glühbirnenkörper in der Mitte des Zylinders befand. Vor die Glühbirne wurde ein handelsüblicher "Dimmer" geschaltet, so daß über den Drehregler des "Dimmers" die Stromstärke und damit auch die Wärmeentwicklung und -abgabe des Leuchtkörpers reguliert und festgelegt werden konnten.

Mit Hilfe der oben genannten Thermometer konnte nun je nach Raumtemperatur der "Dimmer" so justiert werden, daß die dicht unter der Kunststoffoberfläche des UK-Modells gemessene Endtemperatur 36°C - 37°C ergab, also die Temperatur, die auch an der Mundschleimhautoberfläche erreicht wird.

Mit dieser vom konstruktiven Aufwand relativ einfachen Versuchsanordnung mit ihrem regulierbaren "Heizungssystem" konnte somit eine der eingangs gestellten Forderungen nach mundähnlichen Versuchsbedingungen (SCHWINDLING(30)) bei der Abformung erfüllt werden.

Dabei unberücksichtigt blieben jedoch mögliche Unterschiede zwischen der Oberflächentemperatur des Zahnstumpfes und der Mundschleimhaut. In der Versuchsanordnung unterschied sich die am eingesetzten Metallkegel bestimmte Oberflächentemperatur nur unwesentlich (ca. $+ 0,5^{\circ}\text{C}$) von der Temperatur der "Mundschleimhaut" des FRASACO-Modells. Alle Abformungen wurden mit einem den Modellverhältnissen angepaßten halben UK-Löffel vom Typ BAKER der Firma SURGIDENT vorgenommen. Abweichend von den üblichen konfektionierten Löffeln können diese über einen Wasserkreislauf temperiert werden. Im allgemeinen finden diese Löffel in der "Hydrokolloid-Technik" ihre Verwendung (BAUER(1)).

Eine mit 6 Volt Gleichstrom betriebene Membranpumpe (Förderleistung: 1,5 l Wasser/min), neben dem UK-Modell am Rand der oberen Spanplatte angebracht, förderte das je nach gestellter Versuchsbedingung vortemperierte Wasser aus einem Behälter über verbindende Kunststoffschläuche in das Hohlraumsystem des BAKER-Löffels. In diesem Behälter (Kunststoffbecken, 2 l Fassungsvermögen) wurde die für den "Kreislauf" benötigte Wassermenge durch eine stabförmige elektrische Heizquelle (Aquarienheizung, 40 Watt) in Verbindung mit einem Thermostaten auf die gewünschte Versuchstemperatur eingestellt.

Durch einen Auslaufstutzen des Löffels gelangte das Wasser wieder in das Kunststoffbecken zurück. Damit war der "Kreislauf" geschlossen, und die Wassertemperatur konnte so während des Versuchsablaufs konstant gehalten werden.



Abb. 2_a : Überblick über die gesamte
Versuchsanordnung

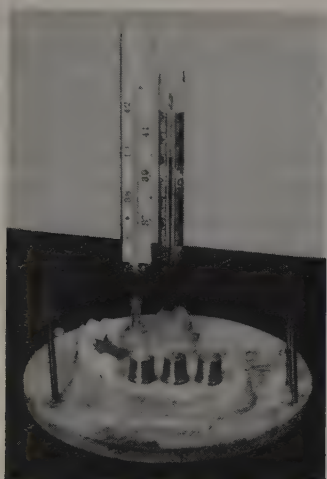
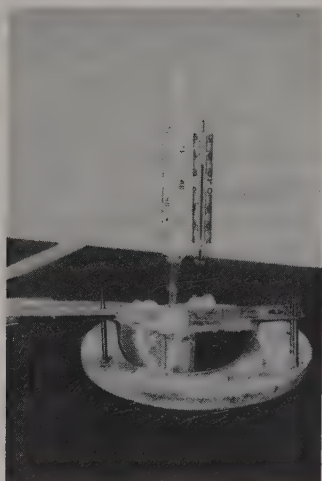


Abb. 2_b) : FRASACO-Modell
mit Prüfkörpern
und Thermometern

Abb. 2_c) : FRASACO-Modell
mit aufgesetztem
BAKER-Löffel



III. Abformung

Für die Abformung der Prüfkörper in ihrer Lageposition auf dem UK-Modell wurde ausschließlich der Polyäthergummi IMPREGUM(R) (Hersteller: ESPE, Seefeld/Obb.) im "einzeitig-einphasigen" Verfahren verwandt.

Materialmenge, Mischungsverhältnis, Misch-, Einbring- und Abbindezeit waren bei allen Abformungen gleich. 28,5 g Paste (rot), entsprechend 30cm Stranglänge, wurden 45 sec mit 3,5 g Härter (blau), entsprechend 24cm Stranglänge, intensiv angespatelt, bis eine gleichmäßig violette Farbe erreicht war.

Das Einbringen der Abformmasse in den BAKER-Löffel, inklusive der Anwendung der Pasten-Spritze an den Kronenstümpfen, (Prüfkörper), erforderte weitere 75 sec, so daß nach einer Gesamtzeit von 2 min, vom Beginn des Anspatelns gerechnet, der BAKER-Löffel in seiner Vorrichtung auf dem UK-Modell fixiert war.

Der Wasserkreislauf wurde jeweils 5 min vor Beginn der Abformmaßnahmen eingeschaltet, damit die Metalloberfläche des BAKER-Löffels auf die Temperatur der zirkulierenden Wassermenge gebracht werden konnte. Nach insgesamt 8 min, vom Beginn des Anspatelns gerechnet, wurde der Wasserkreislauf abgeschaltet und der Abformlöffel mit einem kräftigen Ruck entfernt.

IV. Modellherstellung

Die Abformlumina wurden 5 min nach Beendigung der Abformung mit Modellmaterial (VEL-MIX STONE(R)) ausgegossen. VEL-MIX STONE(R) ist ein Hartgips, der zur Anfertigung von Situations- und Arbeitsmodellen geeignet ist. Nach Angaben des Herstellers (KERR MFG.CO, Detroit, Michigan/USA) weist dieses Material eine Expansion von 0,04-0,08% (nach 2 Std.) auf. Die Abbindezeit liegt bei 8-10 min..

Die benötigte Menge Pulver und Wasser wurde im Gewichtsverhältnis 4:1 (Herstellerangabe) abgewogen und 60 sec intensiv durchgespatelt. Anschließend wurden die Abformlumina unter Vermeidung von Luftblasen mit der Modellmasse aufgefüllt. Die Verwendung eines "Rüttlers" erleichterte diese Aufgabe. Die Hohlformen wurden jeweils geringgradig überfüllt und mit einem DOWEL-PIN versehen, wie er bei der Modellherstellung nach dem SPLIT-CAST SYSTEM verwandt wird. Nach einer halben Stunde wurden die Hartgipsmodelle aus der Abformmasse entfernt und für 8 Stunden in einer feuchten Kammer gelagert. Anschließend wurden die Modelle vermessen.

V. Vermessung

a) Beschreibung des Meßmikroskops; zit. nach PÖTKE (22)
(Med.Diss. München 1973)

" Die Untersuchungen werden mit einem Auflichtmikroskop (Aristophot, Leitz/Wetzlar) durchgeführt. Die Wahl der Optik hat sich bei vorgegebener Höhe des Objekts an dem stärksten eben noch möglichen Vergrößerungsmaß zu orientieren. Hier wird ein 25fach Okular (Periplan MGF mit Fadenkreuz, Leitz/Wetzlar) und ein 6,5fach Objektiv mit der Apertur 0,18 (A) (Ultropak, Leitz/Wetzlar) gewählt, sodaß es mit dieser 162,5fachen Gesamtvergrößerung B' gerade gelingt, die 10mm (*) hohen Stümpfe durchgehend abzutasten. Die Schärfentiefe errechnet sich aus der MICHELschen Formel: $T = \frac{1}{14} \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B'} \times (1 + \frac{1}{B'})$ mm
T beträgt also hier bei voll geöffneter Apertur $2,43 \mu$.

(*) Die Modellstümpfe der vorliegenden Untersuchung haben eine Gesamthöhe von 9mm.

Der Kreutztisch ist drehbar und hat 360 Gradmarkierungen. Er wird horizontal mit Mikrometerspindeln (Steinmeyer) in zwei zueinander senkrechten Bahnen bewegt. Die Ablesemöglichkeit bis zu $5\text{ }\mu$ (0,01 mm-Einheiten) wird durch Milli-meßuhren (Mahr) mit 0,001 mm-Einheiten verbessert, die ein einwandfreies Abschätzen bis zu $0,5\text{ }\mu$ ermöglichen.- Die Hebe- und Senkbewegungen des Kreutztisches durch die Mikroschraube kontrolliert eine weitere Meßuhr mit 0,01 mm - -Einheiten (abschätzbar bis zu $5\text{ }\mu$).- Das Auflicht einer Linid-Glühbirne (6 V, 5 A, Leitz/Wetzlar) kann durch einen Transformator zwischen 0 und 6 A reguliert werden."

b) Durchführung der Messungen

Es wurden insgesamt 4 Serien mit 11 Versuchs- und Meßreihen durchgeführt. In einem Vorversuch wurden zunächst die 3 Prüfkörper vermessen. Ausgehend von der "Okklusalfäche" (obere Kegelstumpffläche) gelangten 4 Ebenen, im Abstand von 1000, 3000, 5000 und 7000 μ zur Vermessung. Der durch herstellungsbedingte Kantenabrundungen ungenaue Bereich direkt unterhalb der "Okklusalfäche" und direkt oberhalb der basalen Stufe wurde bei den Messungen nicht berücksichtigt. In jeder Meßebene wurden 4 Durchmesser bestimmt, im Winkel von 45° zueinander. Als Gesamthöhe wurde aus meßtechnischen Erwägungen die Entfernung zwischen der basalen Stufe und der Kegelfläche zugrunde gelegt. Die Höhe wurde 8fach in Winkelabständen von ebenfalls 45° bestimmt.

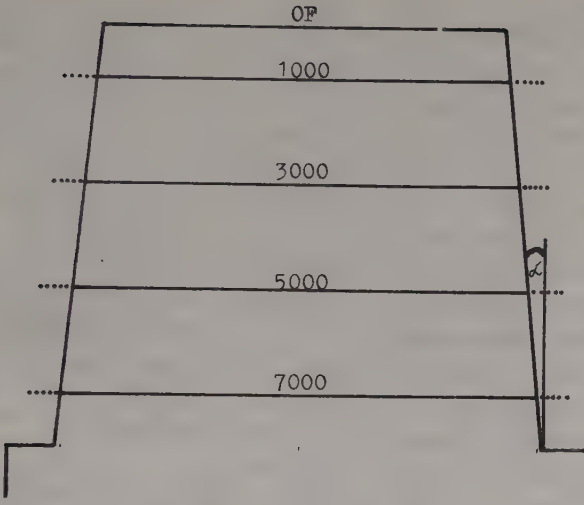


Abb. 3: Prüfkörper (5°-PK) mit eingezeichneten
Meßebenen (10fache Vergrößerung)

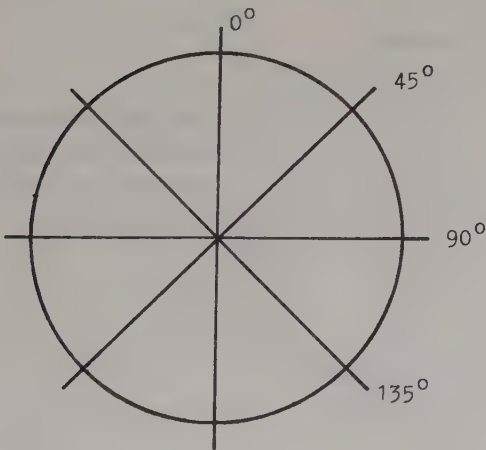


Abb. 4: Darstellung der pro Ebene vermessenen
4 Durchmesser

Vor Meßbeginn war es erforderlich, das jeweilige Meßobjekt exakt in die Meßanordnung einzubringen. Die "Okklusalfäche" der Kegelstümpfe wurde durch Justierung eines Dreipunkt-Meßtischchens senkrecht zur optischen Achse des Mikroskops ausgerichtet. Jeder Punkt der "Okklusalfäche" erschien dann beim Blick durch das Okular scharf. Die Meßuhr zur Kontrolle der Mikrometerschraube bei Hebe- und Senkbewegungen des Kreuztisches wurde in dieser Position auf den Nullpunkt eingestellt. Durch Hebebewegungen des Kreuztisches konnte dann mit Hilfe der Meßuhr die gewünschte Meßebe eingestellt werden, durch Drehung des Kreuztisches wurden die Winkelabstände (45°) festgelegt. Beim Blick durch das Okular erschien die bei eingestellter Meßebe geneigte Manteloberfläche der Prüfkörper, bedingt durch den geringen Tiefenschärfebereich ($2,43\mu$), als Ausschnitt eines Kreisbogens. Durch Betätigung der Mikrometerspindeln (Horizontalbewegungen des Kreuztisches) konnte man den Kreisbogenschnitt so ausrichten, daß das im Okular eingetätzte Fadenkreuz dem Kreisbogen im tangentialen Berührungspunkt anlag (Abb.: 5).

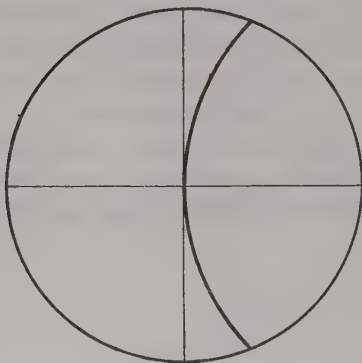


Abb. 5: Fadenkreuz als Tangente am Kreisbogen-ausschnitt (Blick durch das Okular)

Anschließend wurde durch Betätigung der entsprechenden Mikrometerspindel der Durchmesser "abgefahren", bis der gegenüberliegende tangentialer Berührungspunkt erreicht war.

Beide Einstellungen wurden an den Skalen der Mikrometerspindeln und Millimeßuhren abgelesen. Aus der Differenz beider Werte ergab sich der Realwert des Durchmessers (μ).

Zur Höhenmessung wurde der Objektisch durch Vertikalbewegungen so eingestellt, daß einmal die Oberfläche der basalen Stufe und zum anderen die eingangs justierte "Okklusalfäche" im Okular scharf erschien. Die Meßstrecke war direkt an der Kontrollmeßuhr der Mikrometerschraube ablesbar (μ).

Bei den Prüfkörpern (Stahlkegelstümpfe) wurde jeder Durchmesser 5fach bestimmt und arithmetisch gemittelt. Dies war notwendig, da durch herstellungsbedingte Rillentiefen die exakte Einstellung des tangentialen Berührungspunktes in manchen Fällen schwierig war. Bei den Hartgipsmodellen genügte eine einmalige Durchmesserbestimmung, da hier die Rillentiefen nicht mehr in Erscheinung traten.

VI Versuchsbedingungen

Beschreibung der Versuchsbedingungen in den einzelnen Versuchsserien

Versuchsserie I

6 Einzelversuche mit je 5 Abformungen; 6 Meßreihen
Temperatur des FRASACO-Modells(T_M): 36°C
Temperatur des Wasserkreislaufs(T_{WK}): 13°C , 21°C , 30°C , 40°C
Anzahl der gleichzeitig abgeformten Prüfkörper(PK): 3
Abformung ohne Speichelfeuchtigkeit

I,1)	5 ⁰ -PK; mittlere Position; 5 Modelle; T_{WK} :	13°C
I,2)	" " " " " "	" : 21°C
I,3)	" " " " " "	" : 30°C
I,4)	" " " " " "	" : 40°C
I,5)	1 ⁰ - " vordere " " "	" : 21°C
I,6)	3 ⁰ - " hintere " " "	" : 21°C

Anzahl der vermessenen Modelle aus der Versuchsserie I: 30

Versuchsserie II

3 Einzelversuche mit je 5 Abformungen; 3 Meßreihen
Temperatur des FRASACO-Modells(T_M): 36°C
Temperatur des Wasserkreislaufs (T_{WK}): 21°C
Anzahl der abgeformten Prüfkörper(PK): 1
Abformung ohne Speichelfeuchtigkeit

II,1)	1 ⁰ -PK; mittlere Position; 5 Modelle; T_{WK} :	21°C
II,2)	3 ⁰ - " " " " " "	" "
II,3)	5 ⁰ - " " " " " "	" "

Anzahl der vermessenen Modelle aus der Versuchsserie II: 15

Versuchsserie III

1 Versuch mit 5 Abformungen; 1 Meßreihe
Temperatur des FRASACO-Modells(T_M): 36°C
Temperatur des Wasserkreislaufs(T_{WK}): 21°C
Anzahl der abgeformten Prüfkörper(PK): 1
Abformung mit Speichelfeuchtigkeit

III,1) 5° -PK; mittlere Position; 5 Modelle; T_{WK} : 21°C
Anzahl der vermessenen Modelle aus der Versuchsserie III: 5

Versuchsserie IV

1 Versuch mit 5 Abformungen; 1 Meßreihe
Temperatur des FRASACO-Modells(T_M): 21°C
Temperatur des Wasserkreislaufs (T_{WK}): 21°C
Anzahl der abgeformten Prüfkörper(PK): 1
Abformung ohne Speichelfeuchtigkeit

IV,1) 5° -PK; mittlere Position; 5 Modelle; T_{WK} : 21°C

Anzahl der vermessenen Modelle aus der Versuchsserie IV: 5

VII. Ergebnisse

Insgesamt wurden 55 VEL-MIX STONE(R) Modelle vermessen. Pro Modell wurden 16 Durchmesser- und 8 Höhenbestimmungen vorgenommen. Dabei wurden 1320 Meßwerte ermittelt. Im Vorversuch bei der Vermessung der Originalprüfkörper(PK) wurde jede Messung 5fach bestimmt. Bei 3 Meßobjekten und 5x24 Einzelmessungen ergaben sich 360 Meßwerte. Die Gesamtzahl aller vorgenommenen Messungen belief sich auf 1680.

Die Durchmesser- und Höhenmeßwerte für alle VEL-MIX STONE(R) Modelle (Versuchsserie I,1-6; II,1-3; III,1; IV,1) sind in den Tabellen 1-11 aufgeführt.

Die Tabelle 12 enthält die gemittelten Meßwerte (aus 5facher Einzelmessung) der 3 Originalprüfkörper(1⁰-PK; 3⁰-PK; 5⁰-PK).

Die Mittelwerte (arithmetisches Mittel) der Originalprüfkörper(PK) und ihrer VEL-MIX STONE(R) Modelle(VM) sind noch einmal in den Tabellen 13-23 zu finden.

In diesen Tabellen sind außerdem noch folgende Werte enthalten:

Die absolute Differenz (μ) der Durchmesserabweichungen ,
die relative Differenz (%) der Durchmesserabweichungen ,
die Differenz der Maxima-und Minimameßwerte (μ),
die Standardabweichung 'S' für Original(PK) und Modelle(VM)
(dimensionslos).

Die absolute Differenz (μ) ergibt sich aus der Differenz der Mittelwerte von Original(PK) und Modell(VM).

Die relative Differenz läßt sich mit Hilfe der Formel :

$$\frac{\text{absolute Differenz} \times 100}{\text{Mittelwert d. Orig.-PK}} (\%) \quad \text{errechnen.}$$

Die Standardabweichung 'S' gibt den Signifikanzbereich aller Meßwerte an. Sie wird aus folgender Formel ermittelt:

$$'S' = \pm \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \frac{N(\bar{x})^2}{1}}$$

'S' = Standardabweichung

$\sum x_i$ = Summe aller Werte x_i

x = Einzeldurchmesser

N = Anzahl der Einzeldurchmesser

$\bar{x}$ = Durchschnitt der Einzeldurchmesser (LINDER(20))

Die Differenzen der erst- und zweitbestimmten (transversal-sagittal) Durchmesser für jede Meßebene der Versuche I,1 bis I,4 sind aus der Tabelle 24 ersichtlich.

Die graphische Darstellung aller gemessenen und errechneten Werte ist in 14 Abbildungen wiedergegeben.

In der Abbildung 6 sind die absoluten Durchmesserabweichungen(μ) mit Minima-Maxima Werten im Original(PK) eingezeichnet(I,1; I,2; I,3). Dasselbe gilt für die Abbildung 7 (I,4; I,5; I,6), für die Abbildung 8 (II,1; II,2; II,3; III,1) und für die Abbildung 9 (IV,1).

Die Standardabweichung 'S' für alle Durchmesserwerte ist in den Abbildungen 10-13 verdeutlicht.

Abb.10: Standardabweichung 'S' der Durchmesserabweichungen für die Meßebenen 1000 und 3000 (I,5; I,6 u.II,1; II,2), Abb.11 für die Meßebenen 5000 und 7000; in den Abbildungen 12 und 13 sind für alle 4 Meßebenen die Standardabweichungen für die Durchmessermeßwerte der Versuche I,1-4 , II,3 , III,1 , IV,1 eingezeichnet. Die Standardabweichungen der Höhenmeßwerte für alle Versuche geben die Abbildungen 14 und 15 wieder.

Eine Übersicht der relativen Durchmesserabweichungen (%) stellen die Abbildungen 16 bis 18 dar. Die Abbildung 19 gibt Aufschluß über die Meßgrößenbeziehung der erst-(transversal) und zweitbestimmten (sagittal) Durchmesser. Die Meßwerte für diese Abbildung sind in der Tabelle 24 zu finden.

Alle nicht besonders gekennzeichneten Werte in den Tabellen und Abbildungen verstehen sich in μ .

T A B E L L E N

Tabelle 1: Meßwerte der VEL-MIX STONE[®] Modelle
aus der Versuchsserie I,1

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7788,5	8134,5	8496,0	8856,0	8095,0	8092,0
7798,5	8151,5	8488,5	8858,0	8120,0	8120,0
7785,5	8149,0	8499,5	8854,0	8130,0	8140,0
7795,0	8140,5	8496,0	8854,5	8085,0	8110,0
7801,5	8168,5	8516,0	8871,0	8079,0	8083,0
7800,0	8154,0	8506,5	8860,0	8066,0	8079,0
7805,5	8166,5	8508,5	8863,0	8062,0	8067,0
7799,0	8160,0	8507,5	8863,5	8091,0	8068,0
7787,0	8147,5	8499,0	8861,0	8094,0	8101,0
7809,5	8175,5	8526,0	8876,0	8091,0	8088,0
7785,0	8158,5	8525,0	8862,0	8073,0	8090,0
7801,0	8169,5	8511,0	8871,0	8098,0	8091,0
7803,0	8153,0	8503,0	8857,0	8078,0	8038,0
7809,0	8169,0	8510,5	8868,5	8047,0	8108,0
7805,0	8161,0	8506,5	8862,5	8098,0	8030,0
7810,0	8166,5	8509,0	8856,5	8039,0	8088,0
7812,0	8171,5	8524,0	8877,0	8069,0	8092,0
7814,0	8178,0	8523,0	8876,0	8103,0	8089,0
7816,5	8177,5	8520,0	8873,5	8089,0	8089,0
7811,5	8181,0	8524,5	8880,0	8083,0	8082,0

Tabelle 2: Meßwerte der VEL-MIX STONE® Modelle
aus der Versuchsserie I,2

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7820,5	8185,0	8530,4	8885,5	8120,0	8070,0
7822,5	8176,0	8519,0	8868,0	8080,0	8012,0
7823,5	8182,0	8527,0	8884,0	8070,0	8065,0
7821,0	8177,5	8525,5	8878,5	8080,0	8080,0
7832,0	8195,0	8546,5	8900,0	8082,0	8120,0
7822,5	8184,0	8530,0	8878,0	8075,0	8030,0
7830,0	8188,0	8535,0	8889,5	8020,0	8060,0
7826,5	8188,0	8532,0	8887,0	8130,0	8085,0
7831,0	8196,5	8535,5	8886,5	8058,0	8115,0
7818,5	8181,5	8523,0	8879,0	8012,0	8085,0
7830,0	8187,5	8535,0	8883,5	8035,0	8023,0
7822,5	8188,0	8527,0	8879,0	8080,0	8060,0
7822,0	8184,0	8538,5	8897,0	8091,0	8084,0
7818,0	8178,5	8523,0	8880,0	8104,0	8063,0
7821,0	8187,0	8533,5	8888,5	8053,0	8062,0
7828,5	8179,5	8534,0	8891,0	8100,0	8125,0
7820,5	8191,0	8537,5	8887,5	8069,0	8049,0
7823,5	8191,5	8530,0	8884,0	8119,0	8119,0
7821,5	8183,5	8531,5	8890,5	8113,0	8073,0
7824,0	8188,5	8536,0	8886,0	8061,0	8083,0

Tabelle 3: Meßwerte der VEL-MIX STONE® Modelle
aus der Versuchsserie I,3

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7861,0	8234,0	8580,5	8931,5	8118,0	8049,0
7847,5	8202,5	8544,5	8900,0	8055,0	8083,0
7853,5	8210,0	8568,0	8919,0	8073,0	8111,0
7848,5	821,5	8558,5	8919,5	8081,0	8089,0
7854,0	8223,0	8573,5	8927,0	8099,0	8097,0
7834,0	8193,0	8545,5	8885,5	8072,0	8070,0
7849,5	8209,5	8563,5	8913,0	8069,0	8100,0
7842,5	8209,5	8556,0	8908,5	8089,0	8095,0
7852,5	8224,5	8577,5	8928,0	8119,0	8104,0
7839,0	8190,0	8535,5	8879,0	8080,0	8074,0
7847,5	8216,0	8557,0	8904,5	8073,0	8106,0
7844,5	8213,0	8564,5	8914,5	8098,0	8078,0
7850,0	8224,5	8576,5	8931,0	8094,0	8066,0
7841,0	8202,0	8541,0	8892,0	8045,0	8056,0
7857,0	8220,5	8566,5	8916,0	8061,0	8067,0
7845,0	8217,0	8563,0	8915,0	8071,0	8075,0
7853,0	8227,5	8577,5	8931,0	8084,0	8064,0
7840,0	8202,5	8547,5	8895,5	8049,0	8049,0
7853,0	8217,0	8569,5	8915,5	8074,0	8065,0
7855,5	8226,0	8562,5	8916,5	8052,0	8097,0

Tabelle 4: Meßwerte der VEL-MIX STONE® Modelle
aus der Versuchsserie I,4

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7872,5	8249,0	8602,5	8961,0	8085,0	
7855,0	8219,0	8548,5	8904,0	8045,0	
7879,0	8249,0	8586,0	8942,5	8085,0	
7860,5	8228,5	8551,5	8904,5	8070,0	
7878,5	8245,0	8603,5	8955,5	8130,0	8030,0
7841,5	8204,5	8543,5	8899,5	8070,0	8130,0
7861,0	8226,5	8585,5	8930,5	8080,0	8070,0
7866,5	8229,5	8583,5	8933,0	8110,0	8080,0
7876,0	8246,0	8591,5	8949,0	8082,0	8060,0
7846,0	8209,0	8549,5	8899,5	8024,0	8055,0
7870,5	8233,5	8572,5	8920,0	8100,0	8115,0
7863,0	8225,5	8569,0	8917,5	8036,0	8027,0
7871,5	8248,5	8591,5	8951,5	8050,0	8028,0
7857,0	8205,5	8895,5	8895,5	8078,0	8080,0
7866,0	8239,0	8936,5	8936,5	8127,0	8049,0
7868,0	8231,5	8925,0	8925,0	8040,0	8120,0
7877,0	8255,5	8958,5	8958,5	8097,0	8033,0
7846,0	8209,0	8896,0	8896,0	8043,0	8063,0
7872,5	8240,5	8938,0	8938,0	8068,0	8099,0
7864,0	8229,5	8929,0	8929,0	8059,0	8043,0

Tabelle 5: Meßwerte der VEL-MIX STONE[®] Modelle
aus der Versuchsserie I,5

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
8719,5	8814,0	8895,0	8979,5	8025,0	8020,0
8722,5	8808,0	8889,0	8976,5	8000,0	8025,0
8724,0	8811,0	8893,0	8976,5	8014,0	8030,0
8714,0	8814,0	8884,5	8977,0	8019,0	8020,0
8725,5	8810,0	8892,5	8984,5	8011,0	8004,0
8708,5	8808,5	8881,5	8970,5	8026,0	8010,0
8705,0	8806,0	8887,5	8978,5	8000,0	8012,0
8721,5	8803,0	8893,0	8978,5	8016,0	8023,0
8718,5	8812,0	8896,0	8980,0	8030,0	8016,0
8721,0	8805,5	8888,5	8973,0	8010,0	8023,0
8725,5	8810,0	8894,0	8978,5	8002,0	8020,0
8717,5	8802,0	8890,0	8966,5	8020,0	8037,0
8720,0	8813,5	8892,5	8973,5	8014,0	8015,0
8722,0	8812,5	8889,0	8972,0	8012,0	8008,0
8729,0	8813,5	8894,5	8977,5	8015,0	8032,0
8727,5	8812,5	8892,0	8973,0	8030,0	8006,0
8721,5	8814,5	8893,5	8982,0	8025,0	8032,0
8729,0	8802,5	8889,0	8982,5	8009,0	8003,0
8727,5	8811,0	8892,0	8982,5	8010,0	8005,0
8714,5	8815,0	8899,5	8984,0	8033,0	8035,0

Tabelle 6: Meßwerte der VEL-MIX STONE[®] Modelle
aus der Versuchsserie I,6

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
8273,5	8503,0	8710,0	8941,5	8063,0	8055,0
8269,5	8488,0	8694,0	8929,0	8071,0	8065,0
8271,0	8496,5	8698,0	8931,5	8064,0	8086,0
8273,0	8502,0	8702,0	8931,5	8059,0	8055,0
8271,5	8505,5	8709,5	8939,5	8057,0	8074,0
8260,0	8478,0	8687,5	8920,0	8061,0	8036,0
8268,5	8496,0	8702,5	8937,5	8050,0	8058,0
8271,5	8496,5	8698,0	8929,5	8064,0	8063,0
8269,0	8505,5	8711,0	8938,0	8050,0	8048,0
8266,5	8492,5	8693,5	8931,5	8043,0	8063,0
8269,5	8498,0	8706,5	8934,0	8060,0	8070,0
8270,0	8499,5	8699,0	8928,5	8059,0	8059,0
8267,5	8506,0	8713,0	8941,5	8057,0	8071,0
8270,5	8487,0	8692,0	8924,5	8058,0	8051,0
8271,5	8505,5	8706,0	8945,0	8057,0	8054,0
8264,0	8502,5	8702,0	8925,5	8060,0	8068,0
8279,5	8510,0	8719,0	8953,0	8048,0	8068,0
8270,0	8496,0	8696,0	8937,0	8078,0	8071,0
8277,0	8508,0	8705,0	8945,5	8070,0	8056,0
8268,0	8504,5	8710,5	8942,0	8050,0	8057,0

Tabelle 7: Meßwerte der VEL-MIX STONE Modelle
aus der Versuchsserie II,1

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
8718,0	8813,0	8895,5	8976,5	8010,0	8006,0
8733,5	8818,9	8900,7	8975,0	8025,0	8015,0
8728,5	8813,5	8891,0	8976,0	8020,0	8001,0
8726,6	8816,5	8892,0	8980,5	8010,0	8034,0
8718,5	8805,0	8882,5	8965,0	8013,0	8002,0
8724,5	8813,0	8890,0	8977,5	8012,0	8012,0
8718,0	8810,5	8889,0	8972,0	8022,0	8026,0
8721,0	8803,5	8884,5	8975,5	8028,0	8014,0
8718,5	8805,5	8885,0	8965,0	8016,0	8002,0
8713,0	8807,0	8888,5	8970,5	8002,0	8011,0
8723,5	8802,5	8882,0	8962,5	8012,0	8018,0
8717,5	8808,0	8883,5	8971,0	8015,0	8010,0
8725,0	8812,5	8895,5	8978,0	8011,0	8013,0
8710,0	8804,0	8889,5	8962,0	8026,0	8010,0
8718,0	8810,5	8888,0	8974,5	8001,0	8007,0
8721,5	8811,0	8892,0	8978,0	8011,0	8021,0
8725,5	8810,0	8889,0	8978,5	8007,0	8003,0
8722,5	8805,5	8890,0	8976,0	8016,0	8009,0
8727,5	8809,0	8895,5	8982,0	8010,0	8014,0
8721,0	8805,0	8892,0	8978,0	8018,0	8006,0

Tabelle 8: Meßwerte der VEL-MIX STONE[®] Modelle
aus der Versuchsserie II,2

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
8266,5	8492,0	8690,5	8927,0	8087,0	8058,0
8279,0	8502,5	8701,5	8937,0	8052,0	8063,0
8272,0	8493,0	8694,5	8928,5	8067,0	8071,0
8268,0	8498,0	8691,0	8935,0	8057,0	8069,0
8273,0	8500,0	8701,5	8939,0	8030,0	8020,0
8269,0	8500,0	8704,0	8946,0	8035,0	8037,0
8281,0	8506,0	8704,0	8938,5	8020,0	8015,0
8270,0	8502,0	8703,0	8938,0	8010,0	8010,0
8267,5	8490,0	8704,5	8937,0	8050,0	8060,0
8278,5	8505,0	8712,0	8945,5	8060,0	8065,0
8279,0	8504,5	8706,0	8942,0	8060,0	8063,0
8276,0	8504,0	8707,0	8945,5	8075,0	8061,0
8269,5	8502,0	8704,0	8935,0	8070,0	8060,0
8278,0	8509,0	8712,0	8946,5	8065,0	8065,0
8277,0	8505,5	8713,0	8941,5	8065,0	8065,0
8276,0	8507,0	8709,5	8936,5	8040,0	8062,0
8270,0	8502,0	8702,0	8937,0	8110,0	8100,0
8270,5	8497,0	8697,5	8937,5	8062,0	8068,0
8266,0	8498,5	8698,0	8934,5	8079,0	8059,0
8269,5	8496,0	8704,0	8936,5	8068,0	8075,0

Tabelle 9: Meßwerte der VEL-MIX STONE[®] Modelle
aus der Versuchsserie II,3

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7833,5	8195,0	8544,0	8901,0	8051,0	8049,0
7830,0	8194,0	8543,0	8903,0	8085,0	8085,0
7835,0	8199,5	8541,0	8900,0	8067,0	8098,0
7832,5	8195,0	8544,5	8900,0	8069,0	8044,0
7821,0	8181,5	8526,0	8877,0	8083,0	8065,0
7820,5	8181,0	8526,0	8884,0	8053,0	8040,0
7817,0	8178,0	8523,0	8880,0	8058,0	8068,0
7813,5	8175,0	8526,5	8878,0	8059,0	8079,0
7824,5	8186,0	8539,0	8891,5	8080,0	8067,0
7823,5	8188,5	8539,5	8894,0	8074,0	8079,0
7823,5	8188,0	8543,0	8896,0	8090,0	8087,0
7823,5	8187,5	8538,5	8890,0	8073,0	8099,0
7819,0	8177,5	8533,5	8888,5	8070,0	8087,0
7812,5	8178,0	8531,0	8890,5	8083,0	8092,0
7818,5	8176,0	8529,0	8887,5	8088,0	8072,0
7816,5	8177,0	8535,5	8892,0	8056,0	8054,0
7816,0	8174,0	8525,5	8874,5	8048,0	8058,0
7821,5	8174,5	8519,5	8882,0	8083,0	8077,0
7817,0	8175,5	8526,0	8882,0	8063,0	8035,0
7818,0	8176,0	8524,0	8881,5	8050,0	8090,0

Tabelle 10: Meßwerte der VEL-MIX STONE® Modelle
aus der Versuchsserie III,1

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7821,5	8177,5	8523,0	8875,0	8092,0	8075,0
7806,5	8174,5	8526,0	8881,5	8099,0	8085,0
7807,0	8167,0	8515,0	8873,0	8093,0	8082,0
7815,5	8181,0	8532,5	8885,5	8083,0	8085,0
7819,0	8170,0	8524,0	8878,5	8075,0	8063,0
7815,0	8178,0	8530,5	8883,5	8073,0	8062,0
7820,0	8176,5	8528,0	8872,0	8067,0	8078,0
7814,5	8180,5	8531,0	8881,0	8071,0	8064,0
7819,0	8179,5	8521,0	8881,0	8076,0	8083,0
7822,5	8183,5	8525,0	8887,0	8069,0	8050,0
7812,5	8171,0	8526,0	8879,0	8080,0	8077,0
7823,5	8171,0	8526,0	8876,0	8066,0	8069,0
7821,0	8174,0	8524,0	8881,0	8074,0	8057,0
7808,5	8175,5	8515,5	8874,5	8062,0	8067,0
7817,5	8178,0	8516,5	8873,0	8093,0	8058,0
7810,5	8166,5	8525,0	8874,0	8064,0	8085,0
7816,5	8182,0	8514,0	8879,0	8082,0	8054,0
7813,0	8169,5	8527,0	8876,5	8049,0	8097,0
7810,5	8167,0	8521,0	8869,0	8065,0	8035,0
7816,5	8175,0	8523,0	8864,0	8070,0	8082,0

Tabelle 11: Meßwerte der VEL-MIX STONE[®] Modelle
aus der Versuchsserie IV,1

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhen-Meßwerte</u>	
7800,0	8163,5	8510,5	8860,0	8071,0	8088,0
7808,0	8153,5	8500,0	8860,5	8074,0	8072,0
7799,0	8161,0	8502,5	8853,0	8069,0	8085,0
7804,0	8151,0	8502,0	8859,0	8082,0	8062,0
7809,5	8165,0	8503,5	8860,5	8079,0	8071,0
7817,0	8161,5	8499,5	8856,5	8068,0	8082,0
7806,5	8163,0	8498,5	8850,5	8075,0	8042,0
7806,5	8159,0	8500,0	8858,0	8061,0	8070,0
7809,0	8151,5	8514,0	8867,0	8073,0	8052,0
7817,0	8165,0	8507,0	8865,5	8062,0	8048,0
7803,5	8167,0	8511,5	8869,5	8083,0	8062,0
7802,0	8162,0	8510,5	8863,5	8038,0	8063,0
7805,5	8165,5	8507,0	8860,5	8069,0	8073,0
7811,5	8168,5	8514,5	8869,5	8073,0	8079,0
7810,0	8170,5	8508,0	8860,5	8047,0	8072,0
7806,5	8169,0	8509,0	8860,5	8089,0	8084,0
7811,0	8163,0	8510,5	8862,0	8075,0	8088,0
7814,5	8163,0	8514,5	8869,0	8057,0	8072,0
7808,0	8162,5	8508,0	8860,0	8078,0	8085,0
7809,0	8165,5	8515,0	8868,5	8066,0	8057,0

Tabelle 12: Mittelwerte der Stahlkegel-Prüfkörper (PK)
aus 5-facher Einzelmessung

1°-Prüfkörper:

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>	
8726,7	8813,4	8904,1	8976,9	8006,2	8011,2
8727,9	8808,8	8898,0	8976,5	8011,0	8008,1
8730,3	8811,8	8903,7	8973,1	8008,2	8016,0
8727,8	8808,6	8906,7	8975,2	8010,3	8013,7
				-----	8012,0

3°-Prüfkörper:

8273,9	8499,4	8698,3	8932,1	8053,2	8052,5
8261,9	8484,8	8705,7	8930,6	8058,5	8048,5
8265,8	8502,9	8696,7	8932,9	8053,0	8058,7
8267,9	8491,5	8696,0	8925,0	8051,2	8053,0
				8051,2	8057,0

5°-Prüfkörper:

7815,4	8187,7	8528,5	8903,1	8071,7	8065,8
7815,5	8183,1	8529,7	8888,8	8062,5	8067,2
7818,1	8184,5	8521,9	8887,0	8058,5	8065,7
7827,2	8183,7	8524,0	8893,5	8059,0	8070,0
				8054,0	8069,5

Tabelle 13: Mittelwerte aus den Tabellen 1 und 12
(Versuchsserie I,1; 5°-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5°-PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7791,8	8143,8	8495,0	8855,6	8111,5
VM 2	7801,5	8162,2	8509,6	8864,3	8074,3
VM 3	7795,6	8162,7	8515,2	8867,5	8090,7
VM 4	7806,7	8162,3	8507,2	8861,1	8065,7
VM 5	7813,5	8177,0	8522,8	8876,6	8087,0
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7801,8</u>	<u>8161,6</u>	<u>8509,9</u>	<u>8865,0</u>	<u>8085,8</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>- 17,2</u>	<u>- 23,1</u>	<u>- 18,6</u>	<u>- 28,1</u>	<u>+ 21,5</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>- 0,22</u>	<u>- 0,28</u>	<u>- 0,22</u>	<u>- 0,32</u>	<u>+ 0,27</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>20,7</u>	<u>33,2</u>	<u>27,8</u>	<u>21,0</u>	<u>45,8</u>
'S' (5°-PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 8,65</u>	<u>± 11,78</u>	<u>± 10,29</u>	<u>± 7,82</u>	<u>± 17,48</u>

'S' = Standardabweichung (dimensionslos)

Tabelle 14: Mittelwerte aus den Tabellen 2 und 12
(Versuchsserie I,2; 5⁰-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5 ⁰ -PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7821,8	8180,1	8525,4	8879,0	8085,6
VM 2	7827,7	8188,7	8535,8	8888,6	8073,7
VM 3	7825,5	8188,3	8530,1	8889,1	8071,9
VM 4	7822,3	8182,2	8532,2	8887,0	8085,2
VM 5	7822,3	8188,6	8533,7	8882,0	8085,7
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7823,9</u>	<u>8185,5</u>	<u>8531,4</u>	<u>8885,1</u>	<u>8080,4</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>+ 4,9</u>	<u>+ 0,8</u>	<u>+ 2,9</u>	<u>- 8,0</u>	<u>+ 16,4</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>+ 0,06</u>	<u>+ 0,01</u>	<u>+ 0,03</u>	<u>- 0,09</u>	<u>+ 0,20</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>5,9</u>	<u>8,6</u>	<u>10,4</u>	<u>10,1</u>	<u>13,8</u>
'S' (5 ⁰ -PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 2,58</u>	<u>± 4,11</u>	<u>± 3,97</u>	<u>± 4,43</u>	<u>± 6,99</u>

Tabelle 15: Mittelwerte aus den Tabellen 3 und 12
(Versuchsserie I,3; 5°-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5°-PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7852,6	8214,2	8562,8	8917,5	8082,3
VM 2	7845,0	8208,7	8559,6	8908,5	8086,3
VM 3	7845,8	8210,8	8558,6	8906,5	8091,5
VM 4	7848,3	8216,0	8561,7	8913,5	8066,8
VM 5	7850,3	8218,2	8564,2	8914,6	8066,2
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7848,4</u>	<u>8213,5</u>	<u>8561,3</u>	<u>8912,1</u>	<u>8078,6</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>+ 29,4</u>	<u>+ 28,8</u>	<u>+ 32,8</u>	<u>+ 19,0</u>	<u>+ 14,3</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>+ 0,38</u>	<u>+ 0,35</u>	<u>+ 0,38</u>	<u>+ 0,21</u>	<u>+ 0,18</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>7,6</u>	<u>9,5</u>	<u>5,6</u>	<u>11,0</u>	<u>25,3</u>
'S' (5°-PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 3,15</u>	<u>± 3,84</u>	<u>± 2,29</u>	<u>± 4,52</u>	<u>± 11,54</u>

Tabelle 16: Mittelwerte aus den Tabellen 4 und 12
(Versuchsserie I,4; 5°-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5°-PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7866,7	8236,3	8572,1	8928,0	8071,0
VM 2	7861,8	8226,3	8579,0	8929,6	8087,5
VM 3	7863,8	8228,5	8570,6	8921,5	8062,3
VM 4	7865,6	8231,1	8574,7	8927,1	8071,4
VM 5	7864,8	8233,6	8577,1	8930,3	8063,1
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7864,5</u>	<u>8231,1</u>	<u>8574,7</u>	<u>8927,3</u>	<u>8071,0</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>+ 45,5</u>	<u>+ 46,4</u>	<u>+ 46,2</u>	<u>+ 34,2</u>	<u>+ 6,7</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>+ 0,58</u>	<u>+ 0,57</u>	<u>+ 0,54</u>	<u>+ 0,38</u>	<u>+ 0,08</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>4,9</u>	<u>10,0</u>	<u>8,4</u>	<u>8,8</u>	<u>25,2</u>
'S' (5°-PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 1,86</u>	<u>± 3,97</u>	<u>± 3,46</u>	<u>± 3,48</u>	<u>± 10,13</u>

Tabelle 17: Mittelwerte aus den Tabellen 5 und 12
(Versuchsserie I,5;1⁰-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
1 ⁰ -PK	<u>8728,1</u>	<u>8810,6</u>	<u>8903,1</u>	<u>8975,4</u>	<u>8010,5</u>
VM 1	8720,0	8811,7	8890,3	8977,3	8019,1
VM 2	8715,1	8806,6	8888,6	8978,0	8012,7
VM 3	8720,6	8807,3	8892,1	8974,5	8019,7
VM 4	8724,6	8813,0	8892,0	8974,0	8016,4
VM 5	8723,1	8810,7	8893,5	8982,7	8018,9
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>8720,7</u>	<u>8809,8</u>	<u>8891,3</u>	<u>8977,3</u>	<u>8017,3</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>- 7,4</u>	<u>- 0,8</u>	<u>- 11,8</u>	<u>+ 1,9</u>	<u>+ 6,8</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>- 0,08</u>	<u>- 0,01</u>	<u>- 0,13</u>	<u>+ 0,02</u>	<u>+ 0,08</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>9,5</u>	<u>6,4</u>	<u>4,9</u>	<u>8,7</u>	<u>7,0</u>
'S' (1 ⁰ -PK)	<u>± 1,52</u>	<u>± 2,35</u>	<u>± 3,67</u>	<u>± 1,71</u>	<u>± 3,01</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 3,63</u>	<u>± 2,79</u>	<u>± 1,89</u>	<u>± 3,48</u>	<u>± 2,89</u>

Tabelle 18: Mittelwerte aus den Tabellen 6 und 12
(Versuchsserie I,6; 3⁰-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
3 ⁰ -PK	<u>8267,3</u>	<u>8494,6</u>	<u>8699,1</u>	<u>8930,1</u>	<u>8053,6</u>
VM 1	8271,7	8497,3	8701,0	8933,3	8064,7
VM 2	8267,8	8494,0	8699,3	8931,6	8057,8
VM 3	8268,7	8498,8	8702,5	8933,0	8056,5
VM 4	8268,3	8500,2	8703,2	8934,1	8059,5
VM 5	8273,6	8504,6	8707,6	8944,3	8062,2
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>8270,0</u>	<u>8498,9</u>	<u>8702,7</u>	<u>8935,2</u>	<u>8060,0</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>+ 2,7</u>	<u>+ 4,3</u>	<u>+ 3,6</u>	<u>+ 5,1</u>	<u>+ 6,4</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>+ 0,03</u>	<u>+ 0,05</u>	<u>+ 0,04</u>	<u>+ 0,06</u>	<u>+ 0,08</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>5,8</u>	<u>10,6</u>	<u>8,3</u>	<u>12,7</u>	<u>8,2</u>
'S' (3 ⁰ -PK)	<u>± 5,01</u>	<u>± 8,12</u>	<u>± 4,46</u>	<u>± 3,56</u>	<u>± 3,35</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 2,51</u>	<u>± 3,90</u>	<u>± 3,11</u>	<u>± 5,13</u>	<u>± 3,32</u>

Tabelle 19: Mittelwerte aus den Tabellen 7 und 12
(Versuchsserie II, 1; 1°-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
1°-PK	<u>8728,1</u>	<u>8810,6</u>	<u>8903,1</u>	<u>8975,4</u>	<u>8010,5</u>
VM 1	8726,6	8815,4	8894,8	8977,0	8015,1
VM 2	8720,5	8808,0	8886,5	8972,5	8016,1
VM 3	8718,1	8805,7	8884,7	8967,2	8010,7
VM 4	8718,6	8809,5	8891,2	8973,1	8012,4
VM 5	8724,1	8807,3	8891,6	8978,6	8010,3
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>8721,5</u>	<u>8809,1</u>	<u>8889,7</u>	<u>8973,6</u>	<u>8012,9</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>- 6,6</u>	<u>- 1,5</u>	<u>- 13,4</u>	<u>- 1,8</u>	<u>+ 2,4</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>- 0,08</u>	<u>- 0,02</u>	<u>- 0,15</u>	<u>- 0,02</u>	<u>+ 0,03</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>8,5</u>	<u>9,7</u>	<u>10,1</u>	<u>11,4</u>	<u>5,8</u>
'S' (1°-PK)	<u>± 1,52</u>	<u>± 2,35</u>	<u>± 3,67</u>	<u>± 1,71</u>	<u>± 3,01</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 3,66</u>	<u>± 3,74</u>	<u>± 4,10</u>	<u>± 4,44</u>	<u>± 2,59</u>

Tabelle 20: Mittelwerte aus den Tabellen 8 und 12
(Versuchsserie II, 2; 3⁰-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
3 ⁰ -PK	<u>8267,3</u>	<u>8494,6</u>	<u>8699,1</u>	<u>8930,1</u>	<u>8053,6</u>
VM 1	8271,3	8496,3	8694,3	8931,5	8065,4
VM 2	8273,2	8502,0	8703,1	8940,3	8022,1
VM 3	8275,2	8500,8	8707,3	8942,5	8061,7
VM 4	8275,1	8505,8	8709,6	8939,8	8061,5
VM 5	8268,0	8498,3	8700,3	8936,3	8077,6
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>8272,5</u>	<u>8500,6</u>	<u>8702,9</u>	<u>8938,1</u>	<u>8057,6</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>+ 5,2</u>	<u>+ 6,0</u>	<u>+ 3,8</u>	<u>+ 8,0</u>	<u>+ 4,0</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>+ 0,06</u>	<u>+ 0,07</u>	<u>+ 0,04</u>	<u>+ 0,09</u>	<u>+ 0,05</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>7,2</u>	<u>9,5</u>	<u>15,3</u>	<u>11,0</u>	<u>55,5</u>
'S' (3 ⁰ -PK)	<u>± 5,01</u>	<u>± 8,12</u>	<u>± 4,46</u>	<u>± 3,56</u>	<u>± 3,35</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 3,01</u>	<u>± 3,63</u>	<u>± 6,02</u>	<u>± 4,30</u>	<u>± 20,93</u>

Tabelle 21: Mittelwerte aus den Tabellen 9 und 12
(Versuchsserie II,3; 5⁰-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5 ⁰ -PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7832,7	8195,8	8543,1	8901,0	8068,5
VM 2	7818,0	8178,8	8525,3	8879,7	8063,1
VM 3	7823,7	8187,5	8540,0	8892,8	8081,1
VM 4	7816,1	8177,1	8532,2	8889,6	8075,2
VM 5	7818,1	8175,0	8523,7	8880,0	8063,0
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7821,7</u>	<u>8182,8</u>	<u>8532,8</u>	<u>8888,6</u>	<u>8070,1</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>+ 2,7</u>	<u>- 1,9</u>	<u>+ 4,3</u>	<u>- 4,5</u>	<u>+ 5,8</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>+ 0,03</u>	<u>- 0,02</u>	<u>+ 0,05</u>	<u>- 0,05</u>	<u>+ 0,07</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>16,6</u>	<u>20,8</u>	<u>19,4</u>	<u>21,3</u>	<u>18,1</u>
'S' (5 ⁰ -PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 6,76</u>	<u>± 8,67</u>	<u>± 8,62</u>	<u>± 9,02</u>	<u>± 7,89</u>

Tabelle 22: Mittelwerte aus den Tabellen 10 und 12
(Versuchsserie III,1; 5⁰-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5 ⁰ -PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7812,6	8175,0	8524,1	8878,7	8086,7
VM 2	7817,1	8174,0	8528,3	8878,7	8069,1
VM 3	7819,3	8176,2	8524,5	8880,7	8071,2
VM 4	7814,3	8173,5	8520,2	8875,6	8069,9
VM 5	7814,1	8173,3	8521,2	8872,1	8066,7
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7815,4</u>	<u>8174,4</u>	<u>8523,6</u>	<u>8877,1</u>	<u>8072,7</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>- 3,6</u>	<u>- 10,3</u>	<u>- 4,9</u>	<u>- 16,0</u>	<u>+ 8,4</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>- 0,05</u>	<u>- 0,13</u>	<u>- 0,06</u>	<u>- 0,18</u>	<u>+ 0,10</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>6,7</u>	<u>2,9</u>	<u>8,1</u>	<u>8,6</u>	<u>20,0</u>
'S' (5 ⁰ -PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 2,68</u>	<u>± 1,20</u>	<u>± 3,18</u>	<u>± 3,37</u>	<u>± 7,99</u>

Tabelle 23: Mittelwerte aus den Tabellen 11 und 12
(Versuchsserie IV, 1; 5°-Prüfkörper (PK)
mit VEL-MIX STONE[®] Modellen (VM))

	<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>Höhe</u>
5°-PK	<u>7819,0</u>	<u>8184,7</u>	<u>8528,5</u>	<u>8893,1</u>	<u>8064,3</u>
VM 1	7802,7	8157,2	8503,7	8858,1	8075,3
VM 2	7809,8	8162,1	8500,3	8856,3	8068,4
VM 3	7807,8	8161,3	8510,7	8866,3	8060,1
VM 4	7808,3	8168,3	8509,6	8862,7	8073,2
VM 5	7810,6	8163,5	8512,0	8864,8	8072,2
Durchschnitt					
VM 1-5	<u>7807,8</u>	<u>8162,4</u>	<u>8507,2</u>	<u>8861,6</u>	<u>8069,8</u>
absol.					
Diff.(u)	<u>- 11,2</u>	<u>- 22,3</u>	<u>- 21,3</u>	<u>- 31,5</u>	<u>+ 5,5</u>
rel.Diff.					
(%)	<u>- 0,14</u>	<u>- 0,27</u>	<u>- 0,25</u>	<u>- 0,35</u>	<u>+ 0,07</u>
Max.-Min.					
Diff.	<u>7,9</u>	<u>11,1</u>	<u>11,7</u>	<u>10,0</u>	<u>15,2</u>
'S' (5°-PK)	<u>± 5,58</u>	<u>± 2,05</u>	<u>± 7,42</u>	<u>± 7,21</u>	<u>± 5,75</u>
'S' (VM 1-5)	<u>± 3,09</u>	<u>± 4,01</u>	<u>± 5,02</u>	<u>± 4,30</u>	<u>± 5,99</u>

Tabelle 24: Differenzen der erst-(transversal) und zweit-
bestimmten (sagittal) Durchmesser (Mittelwerte)
für alle Meßebenen; Versuche I,1-4

<u>1000</u>	<u>3000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>		
-10,0	-17,0	+ 7,5	- 2,0		
+ 1,5	+14,5	+ 9,5	+11,0		5°-PK
-22,5	+28,0	-27,0	-15,0	I,1	T _{WK} : 13°C
- 6,0	-16,0	- 7,5	-11,5		
- 2,0	- 6,5	+ 1,0	- 1,0	(7 +)	(13 -)

- 2,0	+ 9,0	+11,4	+17,5		
+ 9,5	+11,0	+16,5	+22,0		5°-PK
+12,5	+15,0	+12,5	+ 7,5	I,2	T _{WK} : 21°C
+ 4,0	+ 5,5	+15,5	+17,0		
- 3,0	- 0,5	+ 7,5	+ 3,5	(17 +)	(3 -)

+13,5	+31,5	+36,0	+31,5		
+20,0	+30,0	+28,0	+41,5		5°-PK
+13,5	+34,5	+42,0	+49,0	I,3	T _{WK} : 30°C
+ 9,0	+22,5	+35,5	+39,0		
+13,0	+25,0	+30,0	+35,5	(20 +)	(0 -)

+17,5	+30,0	+54,0	+60,0		
+37,0	+40,5	+60,0	+56,0		5°-PK
+30,0	+45,0	+42,0	+49,5	I,4	T _{WK} : 40°C
+14,5	+43,0	+47,5	+56,0		
+31,0	+46,5	+46,5	+62,5	(20 +)	(0 -)

ABBILDUNGEN

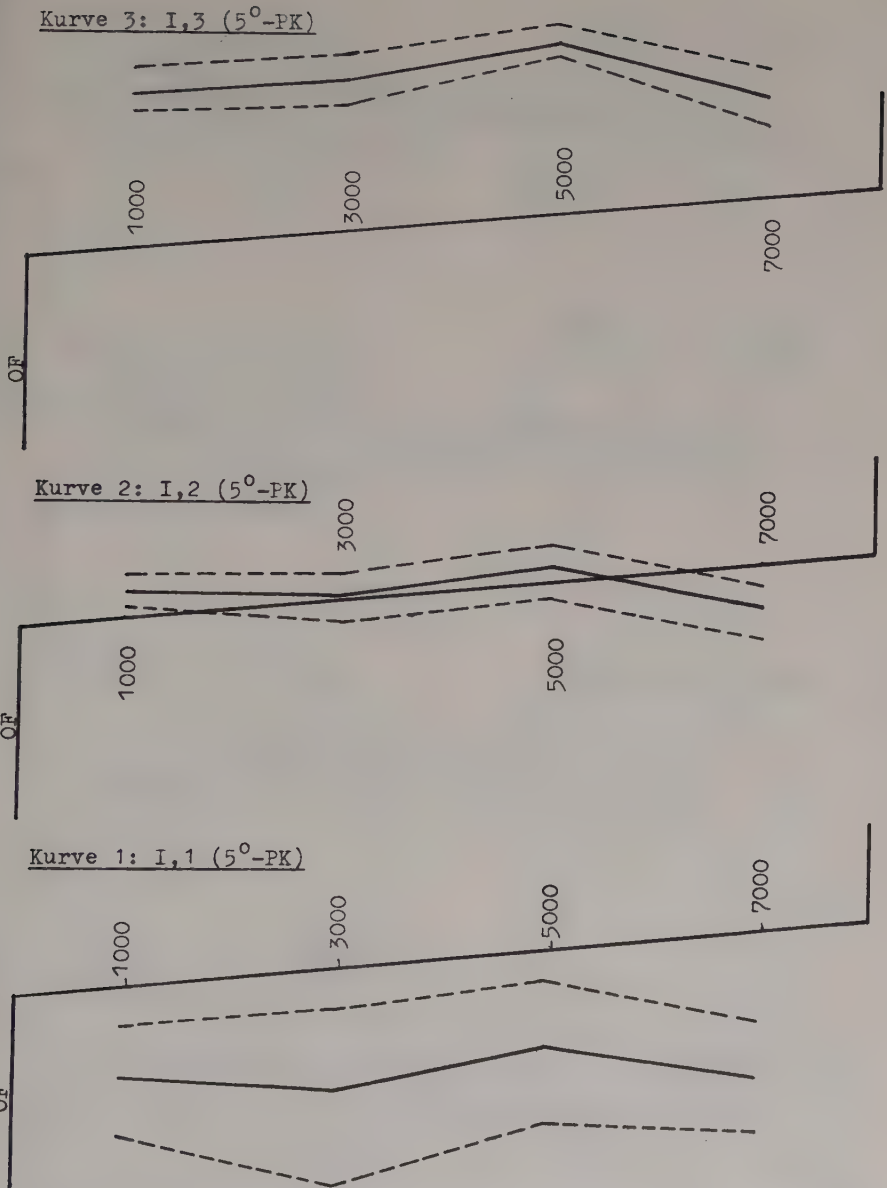
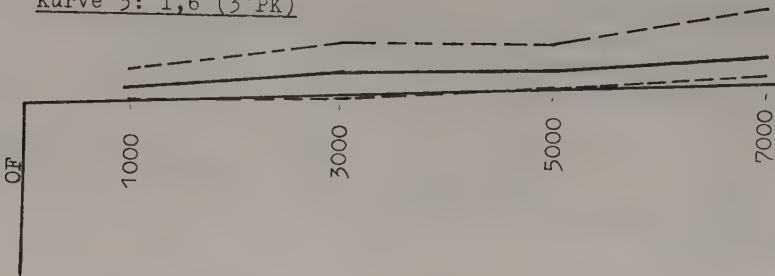
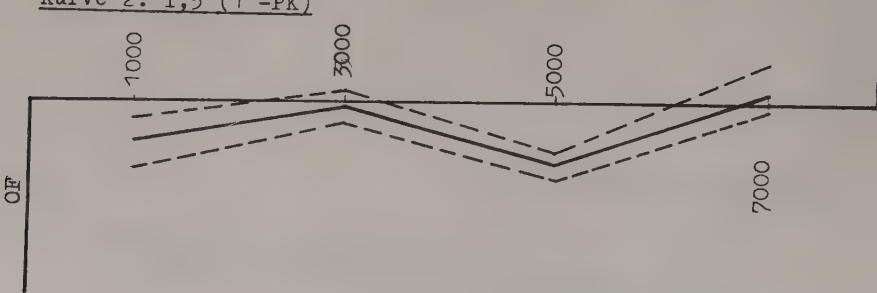


Abb. 6: Im Original(PK) eingezeichnete absolute Abweichungen mit Minima-Maxima Werten

Kurve 3: I,6 (3° PK)



Kurve 2: I,5 (1° -PK)



Kurve 1: I,4 (5° -PK)

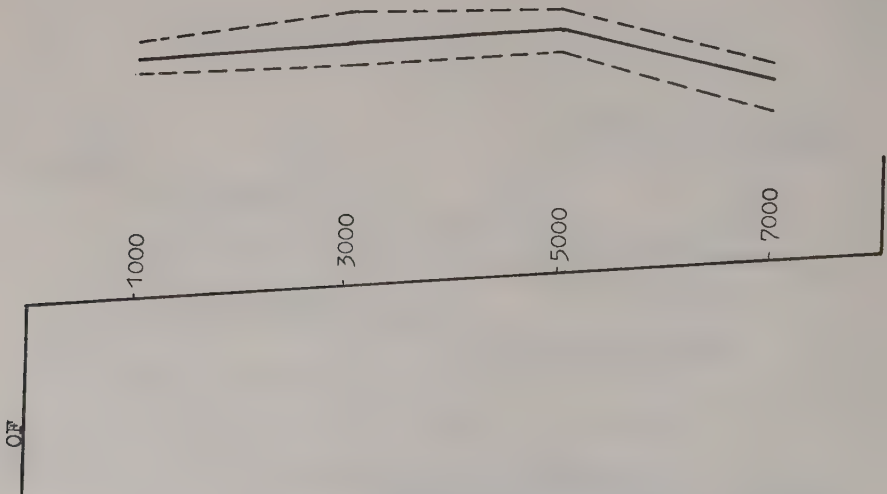
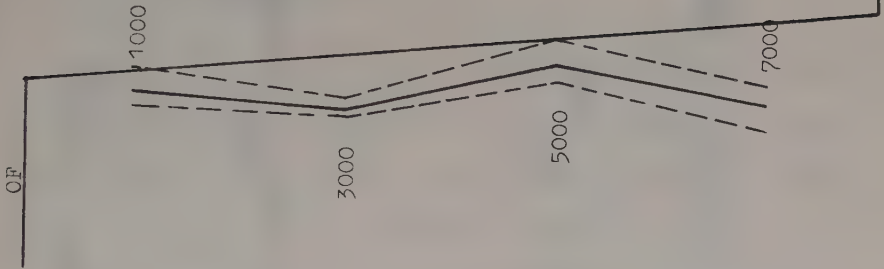
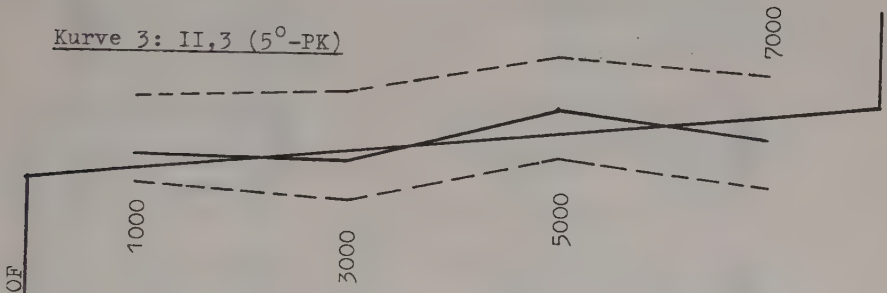


Abb. 7: Im Original(PK) eingezeichnete absolute Abweichungen mit Minima-Maxima Werten

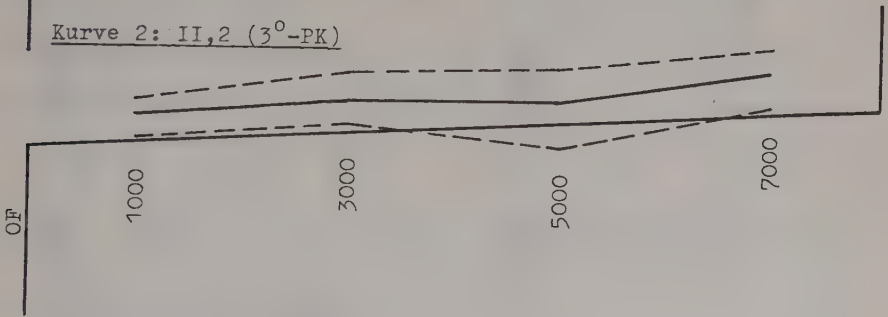
Kurve 4: III,1 (5°-PK)



Kurve 3: II,3 (5°-PK)



Kurve 2: II,2 (3°-PK)



Kurve 1: II,1 (1°-PK)

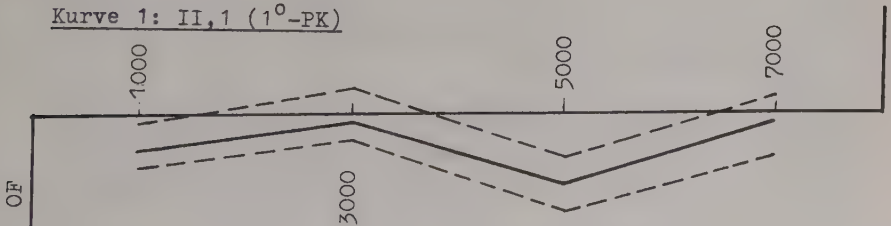


Abb. 8: Im Original(PK) eingezeichnete absolute Abweichungen mit Minima-Maxima Werten

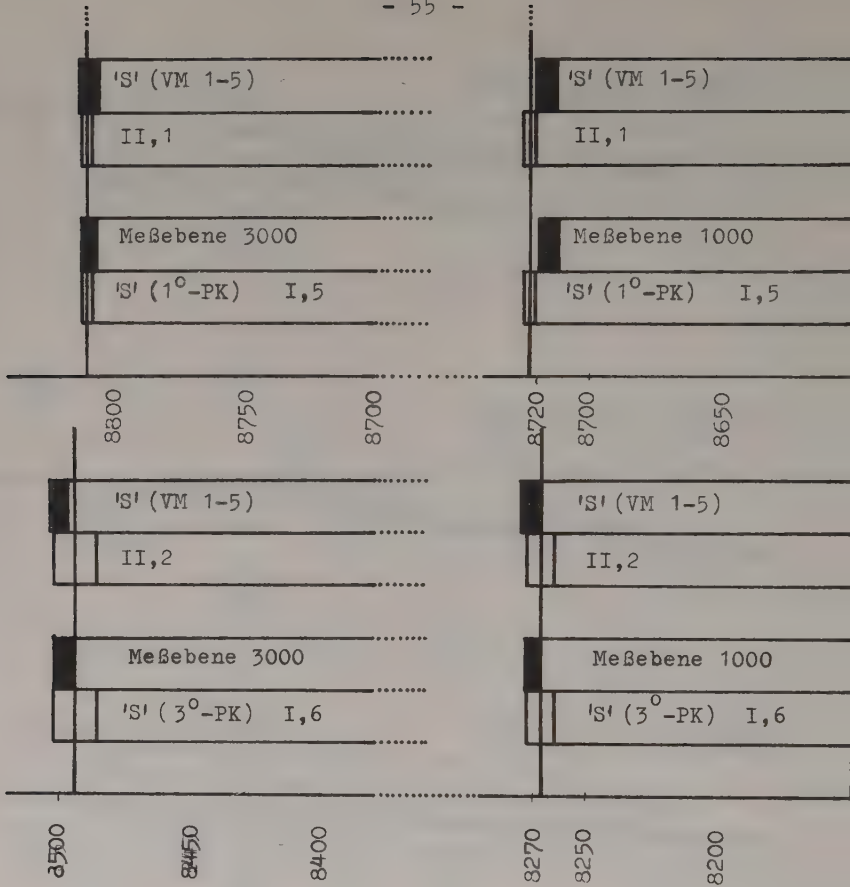


Abb. 10: Standardabweichung 'S'

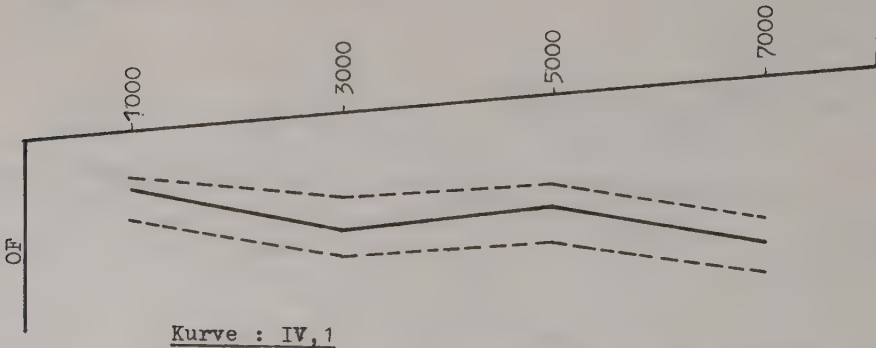


Abb. 9: Im Original(PK) eingezeichnete absolute Abweichungen mit Minima-Maxima Werten

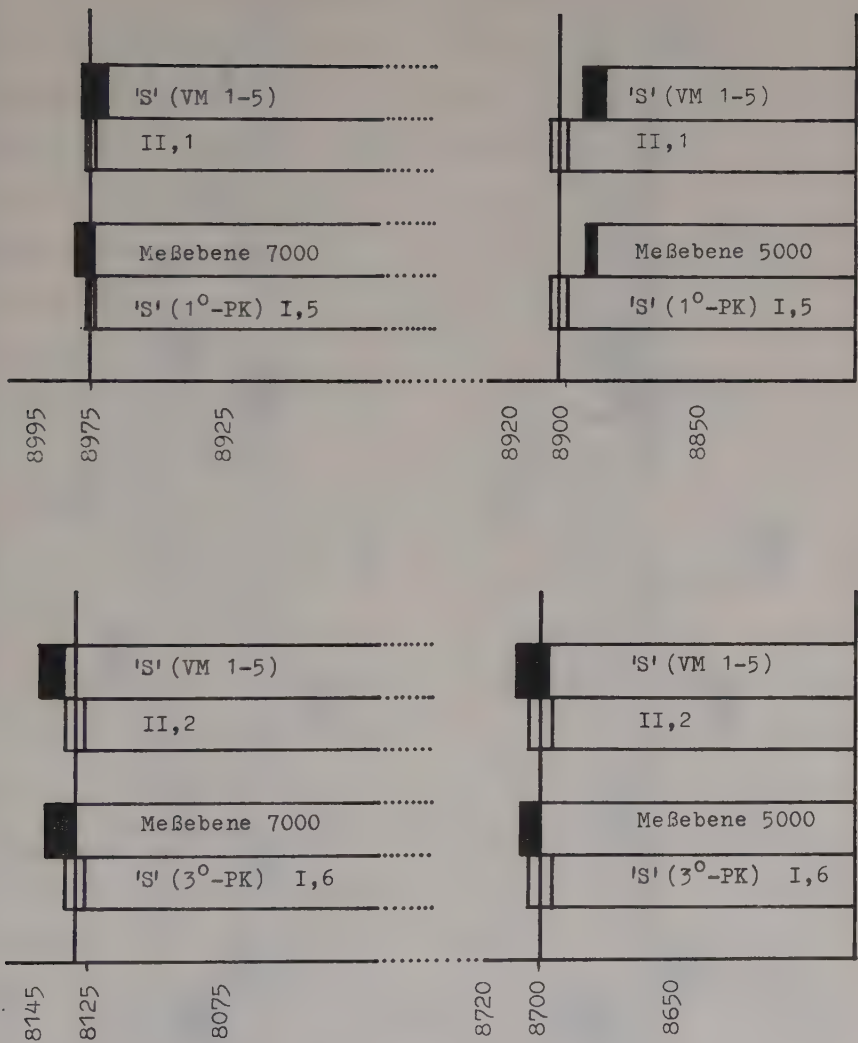


Abb. 11: Standardabweichung 'S'; I,5, I,6, II,1, II,2
Meßebene 5000 und 7000

Abb. 12: Standardabweichung 'S' ; I, 1-4; II, 3; III, 1;

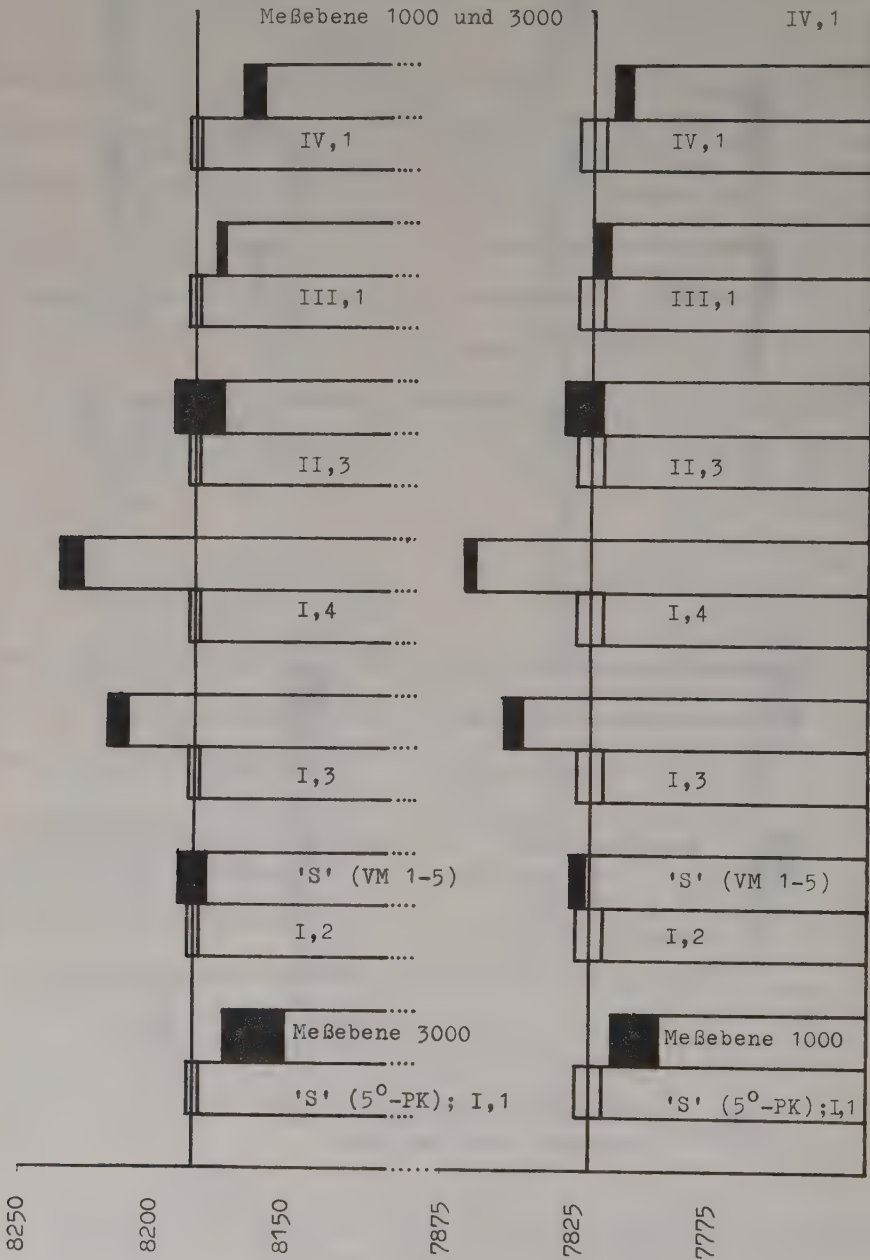


Abb. 13: Standardabweichung 'S' ; I,1-4; II,3; III,1;

Meßebene 5000 und 7000

IV,1

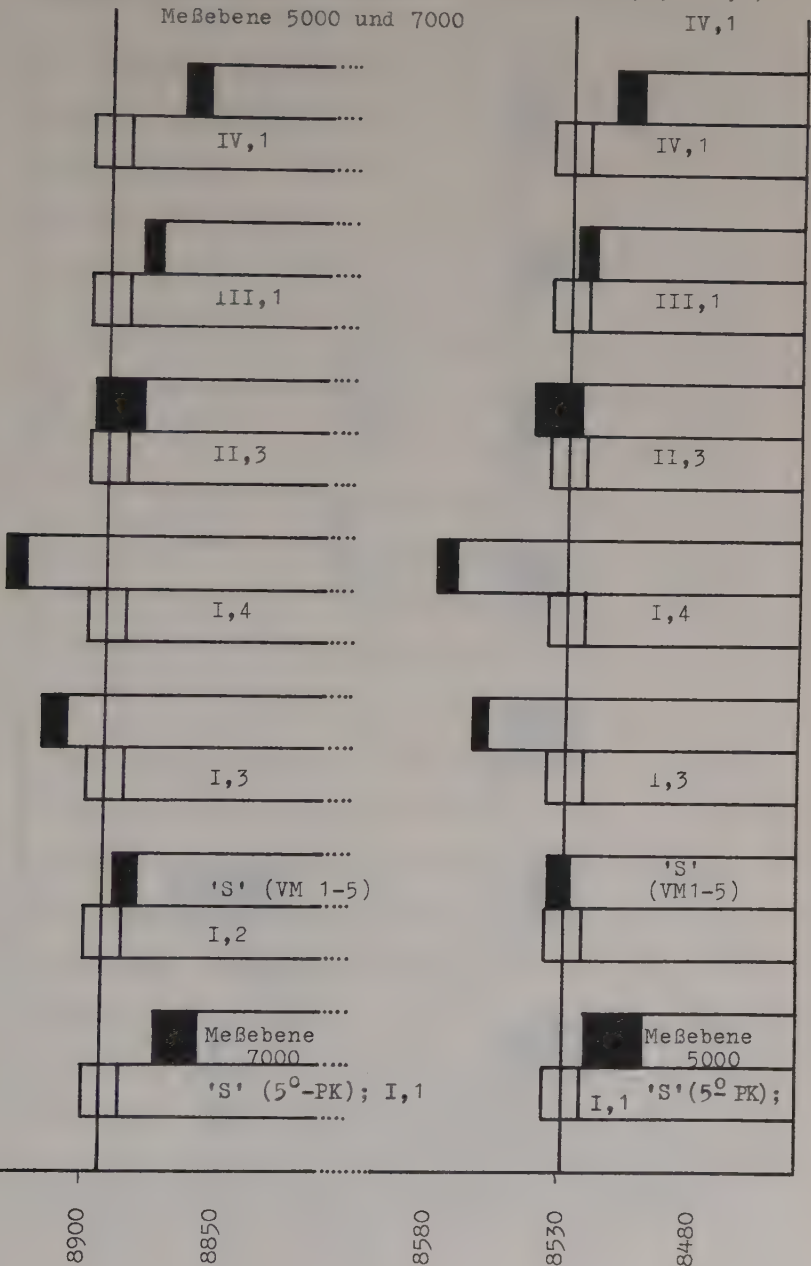


Abb. 14: Standardabweichung 'S' der Höhenmeßwerte

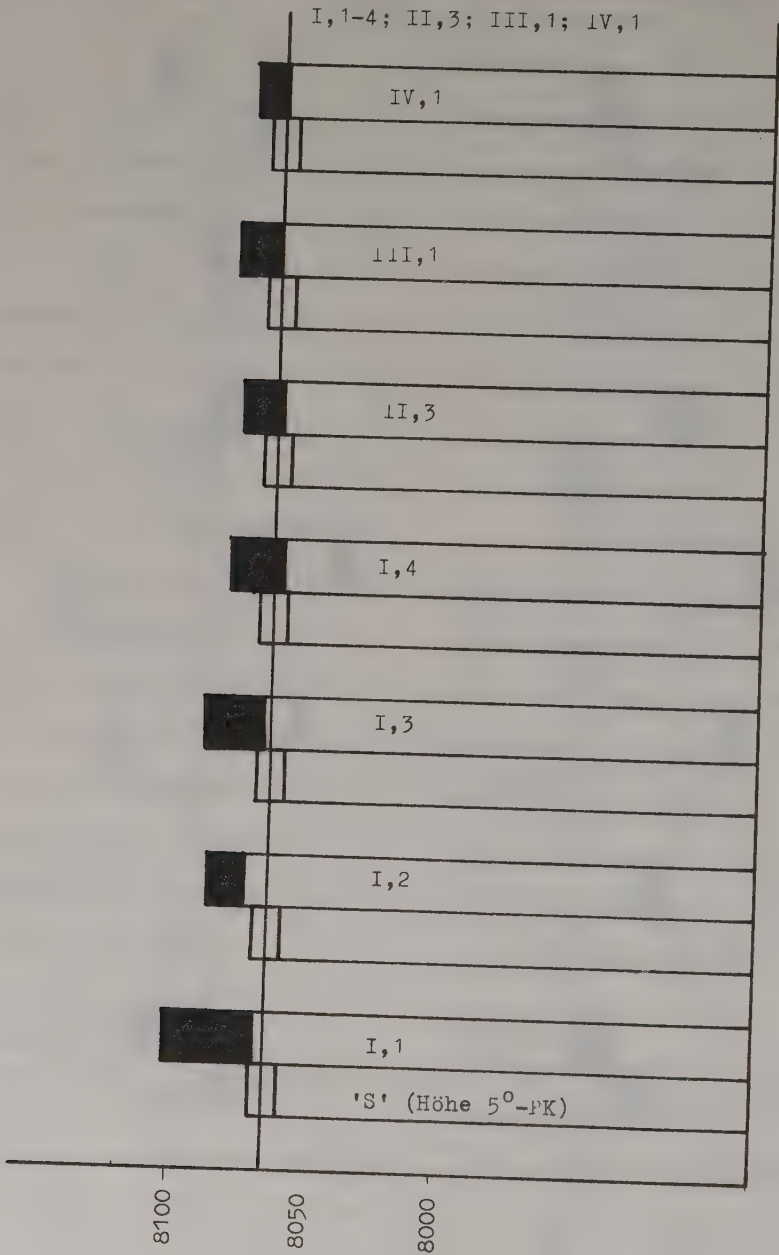
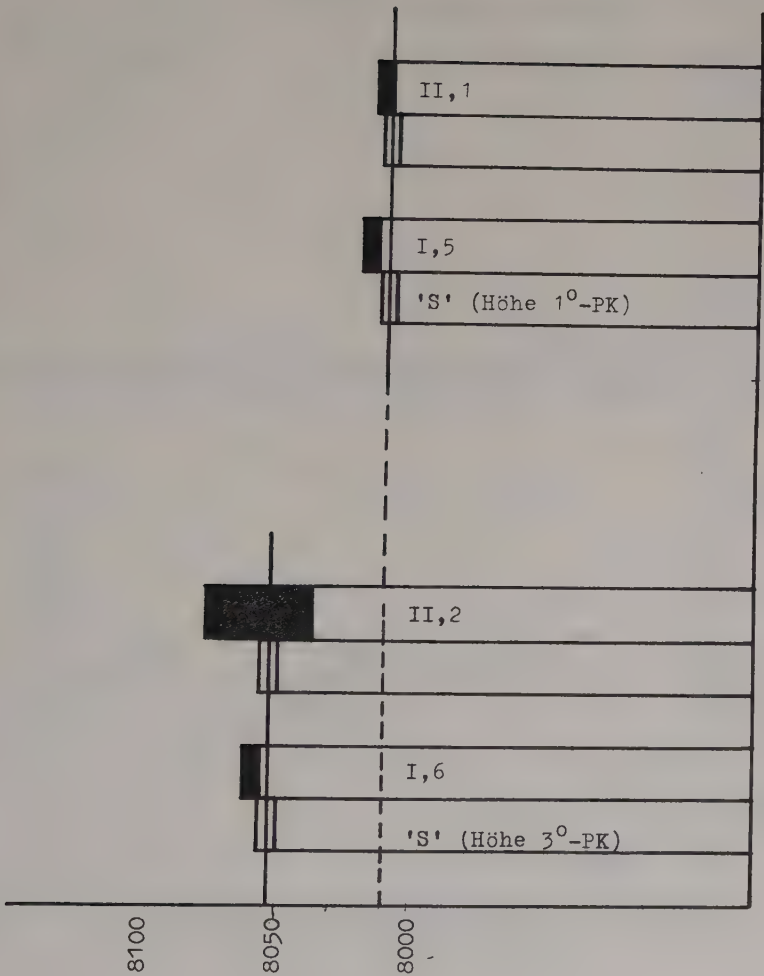


Abb. 15: Standardabweichung 'S' der Höhenmeßwerte
I,5; I,6; II,1; II,2



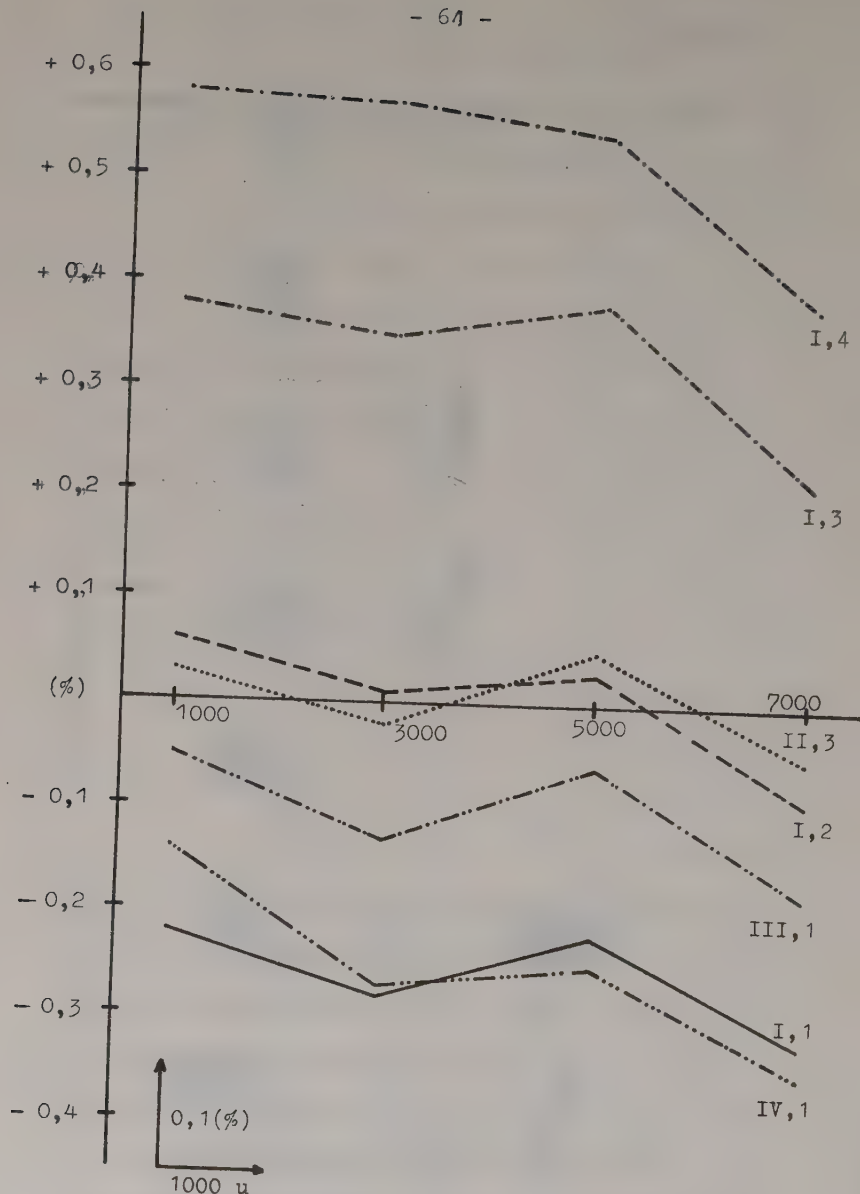


Abb. 16: Relative Durchmesserabweichungen (%) in allen Meßebenen I,1-4; II,3; III,1; IV,1

Abb. 17: Relative Durchmesserabweichungen (%) in allen
Meßebenen I,6; II,2

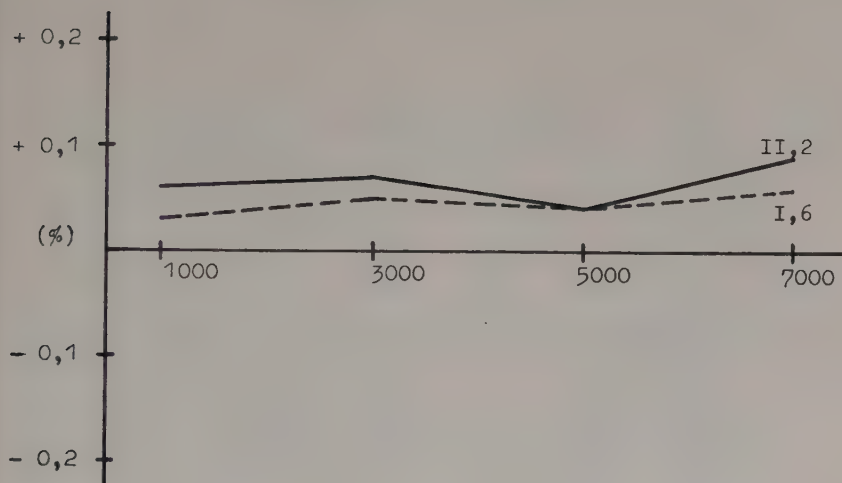
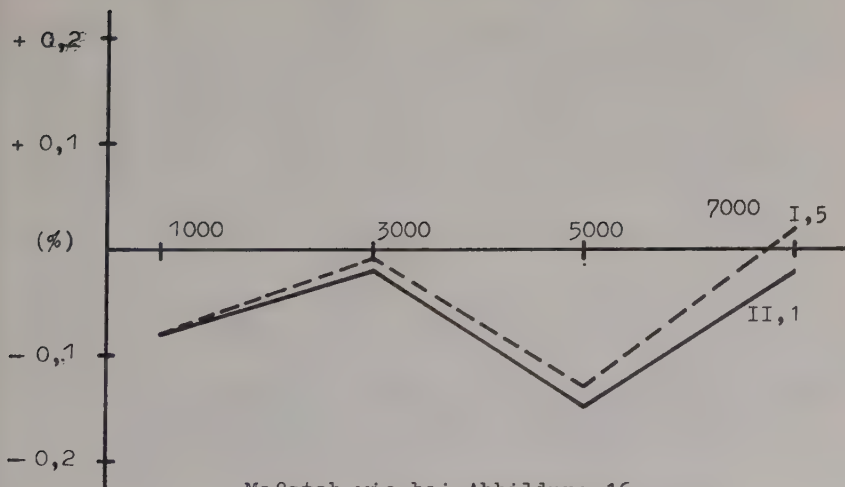


Abb. 18: Relative Durchmesserabweichungen (%) in allen
Meßebenen I,5; II,1



Maßstab wie bei Abbildung 16

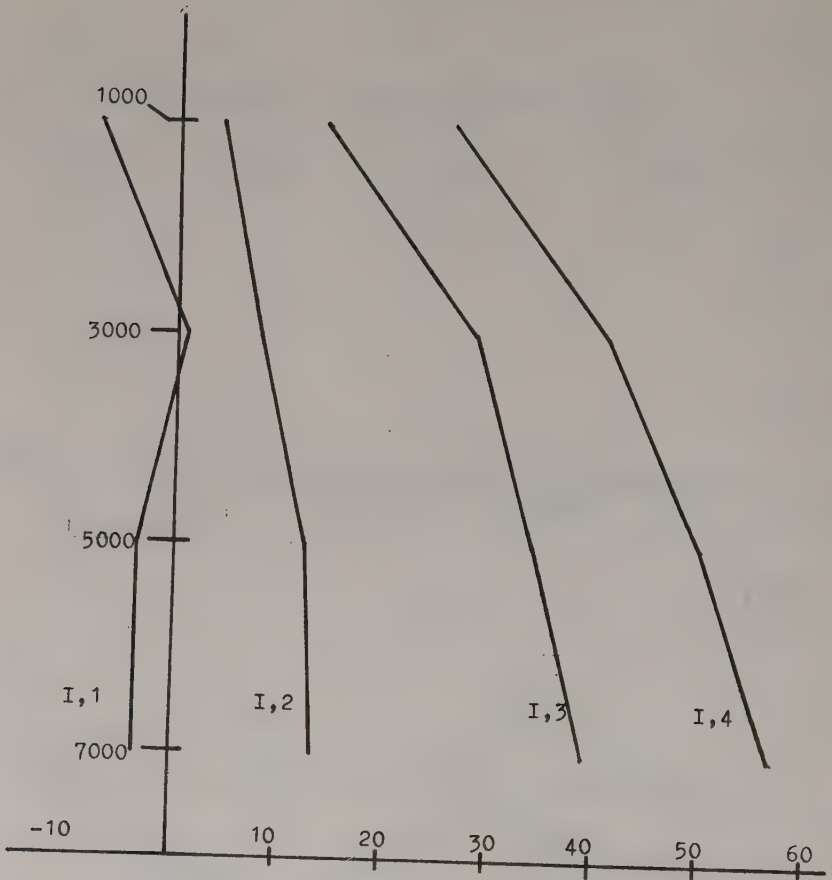


Abb.: 19 Darstellung der mittleren Differenzwerte der erst-(transversal) und zweitbestimmten (sagittal) Durchmesser (Mittelwerte) für alle Meßebenen; Versuche I,1-4

D DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In der Versuchsserie I wurde zunächst in 4 Meßreihen(I,1-4) der Einfluß unterschiedlicher Temperierung des Abformstoffes während der Abbindezeit innerhalb der Mundhöhle auf Volumen- und Formverhalten untersucht.

Tabelle : 1-4 und 13-16

Abbildung: 6 u. 7

Die Abbildungen verdeutlichen die Volumenzunahme der Hartgipsmodelle in Abhängigkeit von ansteigender Temperierung der Abformmasse.

Während bei einer Wasserkreislauftemperatur(T_{WK}) von 13°C (Temperatur von fließendem Leitungswasser) die Modelle(VM) in den 4 Meßebenen Werte von 17,2 bis 28,1 μ entsprechend -0,22 bis -0,32% aufweisen, sind die Durchmesserabweichungen bei 21°C (T_{WK}) gegenüber dem Stahlkegelstumpf(PK) nur noch sehr gering: -8,0 bis +4,9 μ (-0,09 bis +0,06%).

Deutlich größer als ihr Original(PK) werden aber die Modelle (VM) der Versuchsserien I,3 und I,4. Die Wasserkreislauftemperaturen(T_{WK}) waren hier 30°C und 40°C .

Bei I,3 bewegen sich die absoluten Durchmesserabweichungen zwischen +19,0 und +32,8 μ ; diese Werte entsprechen relativen Differenzen von +0,21 bis +0,38%.

Bei I,4 werden Werte von +34,2 bis +46,4 μ (+0,38 bis +0,58%) erreicht.

Auffallend ist der verhältnismäßig große Streubereich der Meßwerte von I,1. Die Erklärung hierfür ist wohl darin zu finden, daß bei einer Vortemperierung der Abformmasse von 13°C (T_{WK}) die Abbindephase, nach einheitlich 8 min (Zeit für

den gesamten Abformvorgang) vom Beginn des Anmischens gerechnet, noch nicht vollständig beendet ist und damit die Abzugskräfte noch breiter gestreute Enddeformationen bewirken (SCHWICKERATH(25,27), VIOHL(35)).

Der angedeutete flache "S"-Verlauf der Kurven I,1 und I,2 (Abb.:6) kommt wahrscheinlich durch Überlagerung von vier Faktoren zustande: Die durch die Abzugskräfte bewirkte Enddeformation, das damit im Zusammenhang stehende Maß an erreichter gummielastischer Stabilität, der Abformmassenschwund bei unterschiedlicher Schichtdicke (ILG(16)) und eine für den Konuswinkel des Originals(PK) charakteristische Wirksamkeit der Abzugsdeformation.

Der Übergang der oberen "S"-Schleife in eine Gerade, diese Tendenz in der Versuchsserie I zeigen die Kurven I,3 und I,4 (Abb.: 6 u.7) wird möglicherweise durch einen geringeren Enddeformationswert der Abzugskräfte bewirkt, da in der erwärmten Abformmasse (I,3 $T_{WK}:30^{\circ}C$; I,4 $T_{WK}:40^{\circ}C$) der Abbindevorgang schneller beendet ist und somit bei der Entfernung des Löffels aus der Mundhöhle bereits ein höheres Maß an gummielastischer Stabilität erreicht ist.

Damit jedoch läßt sich noch nicht die bei allen Versuchen mit dem 5⁰-Prüfkörper in der Kurvencharakteristik vorhandene untere "S"-Schleife erklären (Abb.: 6-9; Kurvenbez.: I,1-4; II,3; III,1; IV,1) .

Eine zunächst denkbare Erklärung hierfür, nämlich eine Stauchung der Abformmasse an der basalen Stufe des Prüfkörpers mit anschließender Entlastung, muß spätestens bei der Betrachtung der Kurvencharakteristik der Versuche mit den 1⁰-und 3⁰-Prüfkörpern verworfen werden, denn dort ist der

Kurvenverlauf genau umgekehrt, d.h. spiegelbildlich (Abb.: 7 und 8). Wo also bei den Modellen (VM) des 5⁰-Prüfkörpers im Bereich der Meßebene 7000 μ , relative Kontraktion vorherrscht, finden wir dort als Ergebnis der Abformungen des 1⁰- und 3⁰-Prüfkörpers relative Expansion (Abb.: 7 u. 8; Kurvenbez.: I, 5 und I, 6; II, 1 und II, 2).

Von der Konuskronentechnik (KÖRBER(18)) wissen wir, daß die Haftkraft eines Außenkonus direkt von der Größe des Konuswinkels abhängt: Je kleiner der Konuswinkel (flache Steigung) umso größer die Haftkraft. Dieses auf dem Grundprinzip der "Schiefen Ebene" basierende Verhalten bestimmt unter anderem auch die Größe der Abzugskräfte, die bei der Entnahme des Abformlöffels auftreten.

Auf diese Untersuchung angewandt, bedeutet das: Die größte Haftreibung und damit auch Abzugskraft ist bei der Abformung der 1⁰-Prüfkörper zu erwarten, mit absteigenden Werten bei den 3⁰- und 5⁰-Prüfkörpern. Bei der Abformung des 1⁰-Prüfkörpers ist beim Abziehen des Löffels demzufolge auch die Dauer der Wirksamkeit der Haftreibungskräfte am längsten.

Der unterschiedliche Kurvenverlauf muß also in folgendem Zusammenhang betrachtet werden: Größe und Dauer der Abzugskräfte (unter Berücksichtigung des Konuswinkels α), Rückstellelastizität (nach vorangegangener Deformierung), Ausmaß des bleibenden Formänderungsrests (HOFMANN u. LUDWIG(12, 13)).

Entgegen der theoretischen Erwartung zeigen die Ergebnisse der Versuche mit dem 3⁰-Prüfkörper (bei $T_{WK}: 21^{\circ}C$) die geringsten Formveränderungen der Hartgipsmodelle (VM) gegenüber ihrem Original (PK) (Abb.: 7 u. 8; Kurvenbez.: I, 6 u. II, 2).

Eine lineare Beziehung zwischen kleinem Konuswinkel einerseits und größeren Volumen- und Formveränderungen andererseits konnte also nicht gefunden werden. Die geringen Volumen- und Formunterschiede, die bei vergleichbaren Messungen der 1⁰-, 3⁰- und 5⁰- Modellversuche festgestellt wurden, sind für die klinische Anwendung von IMPREGUM(R) ohne Bedeutung. Die Winkelunterschiede von 2⁰ und 4⁰ zwischen den 3 Prüfkörpern sind offensichtlich zu gering, um signifikante Veränderungen der Volumen- und Formwiedergabe zu bewirken.

Die Abbildungen 14 u. 15 zeigen die Standardabweichung 'S' der Höhenmeßwerte für alle Versuchsserien. Die Mittelwerte der Säulen I,1-4 haben absteigende Tendenz. Die geringere Längen- bzw. Höhenzunahme bei ansteigender Wasserkreislauf-temperatur ist auch hier auf die bei höherer Temperatur der Abformmasse während der Abbindephase bedingte größere gummielastische Stabilität zurückzuführen.

In den Abbildungen 17 u. 18 weisen die je zwei Kurven für die 1⁰- und 3⁰-Modellversuche untereinander geringfügige Parallelitäts- und Meßwertunterschiede auf.

Wie aus den Versuchsbedingungen für I,5 und I,6 sowie II,1 und II,2 hervorgeht, wurde zum einen jeder Prüfkörper bei 21⁰C(T_{WK}) gemeinsam mit den beiden anderen Kegelstümpfen abgeformt (Serie I) und im anderen Fall in mittlerer Position auf dem UK-Modell allein abgeformt (Serie II).

Der wesentliche Unterschied der Versuchsbedingungen war hier durch verschieden starke Abformmassenschichten gegeben. Da zeichnerisch jedoch nur die jeweiligen Mittelwerte eingehen, sind die Parallelitäts- und Meßwertunterschiede nicht signifikant.

Die Bedeutung der Abformmassenschichtdicke auf die Größe des Endkontraktionswertes wird bei dem Meßwertvergleich des jeweils ersten (in jeder Ebene) bestimmten Durchmessers (transversale Richtung) mit dem zweiten (sagittale Richtung) in der Versuchsserie I,1-4 deutlich. Hierbei war die transversale Schichtdicke etwa 3,5fach größer als die sagittale (Schichtdicke in den Approximalräumen).

Demnach mußten die erstbestimmten Durchmesser größer sein als die zweiten, da ja die größere Masse auch einen größeren Schrumpfungswert aufweist (ILG(16), SCHWINDLING(28)).

In der Tabelle 24 wurden die Differenzen der mittleren Durchmesser in allen 4 Meßebenen jeweils transversal und sagittal verglichen. Die Ergebnisse der Versuchsserie I,1-4 wurden hierbei zugrunde gelegt. Während bei I,1 noch in 13 Fällen von 20 der transversale Durchmesser kleiner war als der sagittale, ist dies bei I,2 nur noch in 3 Fällen so.

Bei I,3 und I,4 wo die Wasserkreislauftemperaturen 30°C und 40°C betrugen, waren alle erstgemessenen (transversal) Durchmesser größer.

Dieses Verhalten wurde zeichnerisch in der Abbildung 19 verdeutlicht.

Aus dieser Meßwertgegenüberstellung läßt sich die Abhängigkeit der Materialkontraktion von der Schichtdicke auch für den Polyätnergummi IMPREGUM(R) bestätigen. Es handelt sich hier also um eine rein physikalische Erscheinung, und die Tatsache der Massenkontraktion an sich ist nicht vom chemischen Aufbau der elastischen Massen abhängig. Größe und Geschwindigkeit des Schrumpfungsvorgangs jedoch sind je nach Material und Füllstoffgehalt unterschiedlich.

Die Abbildungen 10-13 geben noch eine Übersicht über die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Meßwerte in allen Durchmesserebenen.

Als besonders "volumengetreu" erweisen sich bei den 5⁰-Modellen (VM) diejenigen der Versuchsserien I,2 und II,3. Die Versuchsbedingungen entsprachen hier den Verhältnissen wie sie üblicherweise bei klinischen Abformmaßnahmen anzutreffen sind. Die Abformmasse war hier jeweils der mittleren Raumtemperatur von 21⁰C ausgesetzt. Die Meßwertunterschiede gegenüber dem Original sind hier so gering (-0,09 bis +0,06%), daß man unter Berücksichtigung des versuchsbedingten Fehlers die Volumina von Modell und Original praktisch gleichsetzen kann.

Werden Abformungen an raumtemperierten Prüfkörpern (21⁰C) statt mundtemperierten (36⁰) vorgenommen (Versuchsserie IV,1), so sind die Hartgipsmodelle (VM) zwischen 11,2 und 31,5 μ (Durchmesserunterschiede) kleiner als ihr entsprechender Prüfkörper (PK) (-0,14 bis -0,35%) (Abb.:9; Kurvenbez.IV,1). Das ist darauf zurückzuführen, daß hier die bei höheren Temperaturen sofort nach Entfernung der Abformmasse aus der Mundhöhle auftretende thermische Kontraktion fehlt. Diese lagert sich sonst der Massenschrumpfung auf und führt zu vergleichsweise größeren Modellen (SCHWINDLING(29)).

Die Berechtigung der Forderung SCHWINDLING's(31,33) nach Gewährleistung mundähnlicher Versuchsbedingungen bei Modellversuchen kann aufgrund der oben genannten Ergebnisse nur bestätigt werden.

Die Abformung speichelbefeuchteter Prüfkörper (Versuchsserie III,1) brachte für das lineare Dimensionsverhalten keine signifikanten Unterschiede gegenüber der Abformung trockener Prüfkörper. Allerdings war die Detailwiedergabegenauigkeit beeinträchtigt, was sich vor allem durch Kantenabrundungen und eine "verwaschene" Oberflächenstruktur bei den Hartgipsmodellen (VM) zeigte (MEYER(21)).

E SCHLUSSFOLGERUNG UND WERTUNG

Der Abformwerkstoff IMPREGUM(R) weist im Modellversuch eine hohe Volumengenauigkeit, ausreichende Formwiedergabe und eine gute Detailwiedergabegenauigkeit auf. Auf die klinische Anwendung übertragen, führt die Abformung mundtemperierter Zahnstümpfe mit raumtemperierter Abformmasse zu VEL-MIX STONE(R) Modellen, die mit dem Original(PK) annähernd volumen- und formkongruent sind.

Unter der Voraussetzung, daß durch alle der Modellherstellung folgenden Arbeitsgänge keine weiteren Dimensionsänderungen im Hinblick auf die anzufertigende Krone auftreten, wären jedoch alle Gußkronen, auf Hartgipsmodellen dieser Untersuchung angefertigt, für die klinische Verwendung nicht ohne weiteres brauchbar. Das Einsetzen einer Gußkrone mit Befestigungszement erfordert eine Mindestspaltbreite zwischen Kronenrand und Zahnstumpf von wenigstens 30 μ . Dies ist der Wert für die Korngröße der Befestigungszemente (ILG(15), EICHNER(4)).

Eine exakt dem Zahnstumpf dimensionierte Krone ließe sich gar nicht vollständig auf diesen aufsetzen, da der Zement nicht mehr abfließen und verdrängt werden kann.

Die volumenmäßig größten VEL-MIX STONE(R) Modelle dieser Untersuchung ergab die Versuchsreihe I,4. In der Meßebe 7000 μ (Bereich des Kronenabschlusses) weisen diese Modelle (VM) durchschnittlich +34,2 μ gegenüber ihrem Original(5⁰-Prüfkörper) auf. Daraus würde eine Spaltbreite von +17,1 μ resultieren.

Diese Modelle wären für die klinische Verwendung auch noch zu klein. Durch eine Erhöhung der Vorwärmtemperatur über 40⁰C (bei I,4) hinaus ließen sich mit Sicherheit noch größere Modelle erzielen, die der Forderung nach einer Mindestspaltbreite von 30 μ genügen würden. Dann jedoch würden Formveränderungen auftreten, die in zunehmendem Maße den kreisrunden Querschnitt

der Prüfkörper zum Oval hin verzerren. Dies geht aus der Meßwertgegenüberstellung der transversal und sagittal bestimmten Durchmesser (Tabelle 24) hervor. Die verschiedenen starken Abformmassenschichten (transversal:sagittal = 3,5x) sind dann über die stärkere Wirksamkeit der thermischen Kontraktion für diese Formveränderungen verantwortlich. Der also zunächst sichtbare Vorteil, den eine gezielt vorgewärmte Abformmasse im Hinblick auf eine praktisch wünschenswerte Modellvergrößerung mit sich bringt, wird durch den entscheidenden Nachteil einer starken Formveränderung mehr als aufgewogen.

Das bislang in praxi geübte Vorgehen, für die Abformung mit IMPREGUM(R) raumtemperierte Abformmasse zu verwenden, kann somit immer noch als das genaueste betrachtet werden.

Aus den Modellversuchen geht weiterhin hervor, daß keine für die Praxis bedeutsamen Volumen- und Formveränderungen auf die unterschiedlichen Konuswinkel 1° , 3° und 5° zurückzuführen sind. Solche theoretisch erwarteten Veränderungen werden sicherlich erst bei größeren Winkelabständen (hier nur 2° und 4°) in Erscheinung treten.

Folgt die Modellherstellung unmittelbar der Abformung, so sollte, um die geforderte Mindestspaltbreite von $30\text{ }\mu$ zu erreichen, eine Platzhalterfolie in dieser Stärke Verwendung finden.

Zwar ist die klinische Verwendung von IMPREGUM(R) schwieriger als im Modellversuch, denn Speichelfeuchtigkeit und Blutkoagulum in der Zahnfleischfurche verursachen bei der Darstellung der subgingivalen Präparationsgrenze oft Ungenauigkeiten, nach einiger Übung lassen sich jedoch auch in der zahnärztlichen Praxis ausgezeichnete Abformergebnisse erzielen. Der relativ geringe Zeitaufwand wirkt sich hier zusätzlich günstig aus.

F ZUSAMMENFASSUNG

Das Dimensionsverhalten des Abformwerkstoffes IMPREGUM(R) wird mit Hilfe eines optischen Meßverfahrens an VEL-MIX STONE(R) Modellstümpfen untersucht, die über die Abformung von drei stilisierten Kronen (Stahlkegelstümpfe) gewonnen werden.

Die Dimensionsveränderungen, die durch unterschiedlich temperierte Abformmasse, verschieden starke Schichtdicke, verschiedene Konuswinkel(α) und durch Speichelfeuchtigkeit bedingt sind, stehen im Mittelpunkt dieser Untersuchung.

Die Dimensionsveränderungen werden linear über vergleichende Durchmesserbestimmungen ermittelt. Jedes Stumpfmodell wird in 4 Meßebenen unterteilt. In jeder Meßebeine werden 4 Durchmesser bestimmt, im Winkelabstand von 45° zueinander. Die Höhe wird jeweils 8fach gemessen, so daß an jedem Meßobjekt 24 Einzelmessungen vorgenommen werden.

An 55 VEL-MIX STONE(R) Modellen aus 4 Versuchsserien werden insgesamt 1320 Meßwerte ermittelt. Bei den 3 Prüfkörpern wird jede Messung 5fach vorgenommen, das ergibt 360 Meßwerte. Die Gesamtzahl aller vorgenommenen Messungen beträgt 1680.

Die Meßwerte bilden die Grundlage für die Berechnung der absoluten und relativen Differenzwerte, der Maxima-Minima Streuung und der Standardabweichung von Original(PK) und Modell(VM).

Die Abformung mit IMPREGUM(R) bei Anwendung der "einzeitig-einphasigen" Technik führt zu volumen-, form- und detailgenauen VEL-MIX STONE(R)Modellen. Dies läßt auf ein ausgezeichnetes Abformverhalten von IMPREGUM(R) schließen.

Eine Verbesserung der Abformgenauigkeit ist aufgrund dieser Untersuchung weder nötig, noch läßt sie sich mit den hier angewandten Abformmethoden erzielen.

Von den Herstellerangaben abweichende Anwendungshinweise zur Verbesserung des Volumenverhaltens von IMPREGUM(R) können nicht gegeben werden.

Für die Kronenherstellung im Techniklabor wird für die Kombination IMPREGUM(R)-VEL-MIX STONE(R) die Verwendung einer Platzhalterfolie von 30 μ Mindeststärke empfohlen.

G LITERATURVERZEICHNIS

- 1 BAUER, A. Der Abdruck mit reversiblen
Hydrokolloid-nach Vorschrift
und modifiziert

Dtsch. zahnärztl. Z.
26, 925 (1971)
- 2 CHONG, M.P. und Abbindeeeigenschaften von
DOCKING, A.R. elastomeren Abformmassen

Quintess. zahnärztl. Lit.
1, Ref. 4273 (1971), aus
Austral.dent.J.
14: 295 (1969)
- 3 EFFINGER, A. Volum-, Gewichts-und Elasti-
zitätsverhalten zahnärztlicher
Abdruckmassen auf Silikonbasis

Dtsch. zahnärztl. Z.
13, 256 (1958)
- 4 EICHNER, K. Leitfaden zahnärztlicher Werk-
stoffe und ihre Verarbeitung

Berlinische Verlagsanstalt GmbH
Berlin-West 1960

- 5 EYRICH, M. Über die Vorbereitung des marginalen Parodontiums zur ringlosen Abdrucknahme bei Kronen- und Brückenersatz
- Dtsch. zahnärztl. Z.
20, 392 (1965)
- 6 FINGER, W. und Abform- und Modellmaterialien,
 LOCKOWANDT, P. eine funktionelle Einheit
- Dtsch. zahnärztl. Z.
27, 620 (1972)
- 7 FRANZ, G. Das Prüfen der Konsistenz bei elastomeren Abformmaterialien
- Dtsch. zahnärztl. Z.
27, 665 (1972)
- 8 FRANZ, G. und Prüfung der Verarbeitungs- und
 RITZE, H. Abbindezeit bei elastischen Abformmassen
- Dtsch. zahnärztl. Z.
27, 189 (1972)
- 9 FUCHS, P. und Untersuchungen zum Dimensions-
 KOBES, L. verhalten silikonhaltiger elastischer Abformmassen
- Dtsch. zahnärztl. Z.
21, 218 (1967)

- 10 GARDEMIN, U. Über das Volumenverhalten von
Hartgipsen und Modellzementen

Dtsch. zahnärztl. Z.
24, 539 (1969)
- 11 GERATS, R. Dimensionsverhalten von nach einer
Doppelabdruckmethode mit gummi -
elastischen Abdruckmaterialien
hergestellten Prüfkörpern

Dtsch. zahnärztl. Z.
18, 724 (1963)
- 12 HOFMANN, M. und
LUDWIG, P. Über das Dimensionsverhalten
verschiedener Abdruckwerkstoffe
im Hinblick auf ihre Eignung für
das Korrekturabdruckverfahren. Teil I

Dtsch. zahnärztl. Z.
23, 6 (1968)
- 13 HOFMANN, M. und
LUDWIG, P. Teil II

Dtsch. zahnärztl. Z.
23, 438 (1968)
- 14 ILG, V. K. Untersuchungen zum Dimensionsverhalten
der Silicone-Abdruckmassen
Teil II: Abdruckmaterial: geformt
 Präparation: positiv

Dtsch. zahnärztl. Z.
14, 405 (1959)

- 15 ILG, V.K. Untersuchungen zur "indirekten Technik"
Teil I: Gedanken zur "indirekten Technik"

Dtsch. zahnärztl. Z.
14, 1305 (1959)
- 16 ILG, V.K. Untersuchungen zum Dimensionsverhalten der Silicone-Abdruckmassen
Teil IX: Abdruckmasse: geformt, aber mit verschieden großer Wandstärke
Präparation: positiv
Alter: verschieden

Dtsch. zahnärztl. Z.
15, 427 (1960)
- 17 ILG, V.K. Untersuchungen zum Dimensionsverhalten der Silicone-Abdruckmassen
Teil: X: Zusammenfassung

Dtsch. zahnärztl. Z.
15, 1202 (1960)
- 18 KÖRBER, K.H. Konuskronen-Teleskope
Einführung in Klinik und Technik

Dr. A. Hüthig-Verlag,
Heidelberg 1969

- 19 KÖRBER, E. und
LEHMANN, K. Vergleichende Untersuchungen bei
Abdruckmaterialien für Kronen
und Brücken

Dtsch. zahnärztl. Z.
24, 791 (1969)
- 20 LINDER, A. Planen und Auswerten von Versuchen

Birkhäuser Verlag
Basel und Stuttgart 1969
- 21 MEYER, H. Über das Verhalten der Abform-
massen gegenüber dem Mundspeichel

Dtsch. zahnärztl. Z.
17, 31 (1962)
- 22 PÖTKE, J. Untersuchung über das Volumen-
verhalten des Kunststoffes
"IMPREDUR" (R)
(Modellmaterial für Kronenstümpfe)

Med. Diss. München 1973
- 23 REHBERG, H. J. Elastische Abformmaterialien -
Eigenschaften und Anwendung

Zahnärztl. Prax.
20, 241 (1969)

- 24 REHBERG, H.J. Elastomere Abformmassen

Schweiz. Mschr. Zahnheilk.
80, 1007 (1970)
- 25 SCHWICKERATH, H. Grundsätzliches zur Abformung
und zu den Abformmaterialien

Dtsch. zahnärztl. Z.
27, 91 (1972)
- 26 SCHWICKERATH, H. Zur Prüfung der Form- und Wieder-
gabegenauigkeit von Abformmate-
rialien

Dtsch. zahnärztl. Z.
27, 478 (1972)
- 27 SCHWICKERATH, H. Zur Form-und Wiedergabegenauigkeit
von elastomeren Abformmaterialien

Dtsch. zahnärztl. Z.
27, 616 (1972)
- 28 SCHWINDLING, R. Die Abformung mit silikonhaltigen
Abformmassen

Dtsch. zahnärztl. Z.
21, 930 (1966)

- 29 SCHWINDLING, R. Das Messen von Dimensionsver-
änderungen an elastomeren Abform-
werkstoffen
- Dtsch. zahnärztl. Z.
25, 710 (1970)
- 30 SCHWINDLING, R. Maßnahmen zur Vermeidung der Abbinde-
kontraktion des Abformwerkstoffes
Impregum (R)
- Dtsch. zahnärztl. Z.
25, 899 (1970)
- 31 SCHWINDLING, R. Lineare Dimensionsveränderungen
von Thiokol-Abformmassen
- Dtsch. zahnärztl. Z.
25, 1121 (1970)
- 32 SCHWINDLING, R. Lineare Dimensionsveränderungen
elastomerer Silikonstoffe für
das Doppelabdruckverfahren
- Zahnärztl. Welt/Reform
79, 771 (1970)
- 33 SCHWINDLING, R. Thermische Korrektur der Volumen-
veränderung eines Siliconabform-
stoffes
- Quintess. zahnärztl. Lit.
22, 45 (1971)

34 STAHL, E.

Präzise Abdrücke nach dem Doppel-
abdruckverfahren speziell für
stufenlose Präparationen und Her-
stellung exakter Modelle für in-
direkte Kronen-, Brücken- und
Inlayarbeiten

Dtsch. Zahnärztebl.

10, 2 (1956)

35 VIOHL, J.

Verarbeitungszeit und Abbindezeit
elastomerer Abformwerkstoffe

Dtsch. zahnärztl. Z.

27, 598 (1972)

36 VOSS, R.

Abformung und Modell -
Praktische Forderungen und
wissenschaftliche Grundlagen
Diskussion nach einer Tonband-
aufzeichnung, überarbeitet und
gekürzt

Dtsch. zahnärztl. Z.

27, 96 (1972)

Für die Überlassung des Themas bin ich

Herrn Prof. Dr. Dr. Peter Fuchs dankbar.

LEBENS LAUF

Am 15. August 1946 wurde ich, Wolfgang Holzberg, in Bremen-Vegesack als Sohn von Robert Holzberg und seiner Ehefrau Lieselotte Holzberg, geb.Reichelt geboren.

Von 1953 bis 1957 besuchte ich die Volksschule in Frankfurt/Main und von 1957 bis 1966 das Hermann-Böse Gymnasium in Bremen, an dem ich die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1967 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität München.

Im Wintersemester 1970 legte ich die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Mein Staatsexamen beendete ich im Dezember 1972.

Von Januar 1973 bis Ende 1974 war ich als Assistent in einer Rosenheimer Praxis tätig.

Für April 1975 steht meine Einberufung zum Wehrdienst bevor.

